

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 4 月 24 日 (24.04.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/034169 A1

(51) 国際特許分類: G05D 7/06
(21) 国際出願番号: PCT/JP02/10733
(22) 国際出願日: 2002 年 10 月 16 日 (16.10.2002)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2001-320560
2001 年 10 月 18 日 (18.10.2001) JP

(NAWATA, Tokuhide) [JP/JP]; 〒486-8530 愛知県 春日井市堀ノ内町 850 番地 シーケーディ株式会社 内 Aichi (JP). 須藤 良久 (SUDOH, Yoshihira) [JP/JP]; 〒486-8530 愛知県 春日井市堀ノ内町 850 番地 シーケーディ株式会社 内 Aichi (JP). 横瀬 雅之 (KOUKETSU, Masayuki) [JP/JP]; 〒486-8530 愛知県 春日井市堀ノ内町 850 番地 シーケーディ株式会社 内 Aichi (JP). 渡辺 雅之 (WATANABE, Masayuki) [JP/JP]; 〒486-8530 愛知県 春日井市堀ノ内町 850 番地 シーケーディ株式会社 内 Aichi (JP). 土居 広樹 (DOI, Hiroki) [JP/JP]; 〒486-8530 愛知県 春日井市堀ノ内町 850 番地 シーケーディ株式会社 内 Aichi (JP).

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シーケーディ株式会社 (CKD CORPORATION) [JP/JP]; 〒485-8551 愛知県 小牧市 広陵二丁目 250 番地 Aichi (JP).

(74) 代理人: 高瀬 孝, 外 (TOMIZAWA, Takashi et al.); 〒460-0003 愛知県 名古屋市中区 錦二丁目 2 番 2 号 名古屋センタービル別館 2 階 Aichi (JP).

(72) 発明者: および

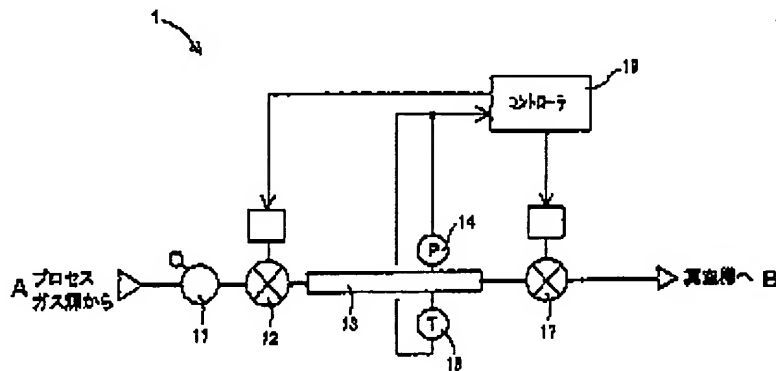
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 横田 徳秀

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: PULSE SHOT FLOW REGULATOR AND PULSE SHOT FLOW REGULATING METHOD

(54) 発明の名称: パルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法



A...FROM PROCESS GAS SOURCE
B...TO VACUUM TANK
19...CONTROLLER

(57) Abstract: A flow regulator and a flow regulating method capable of being released from conventional restrictions by using a new system called the pulse shot system, the method comprising the steps of repeating pulse shots (performing the opening and closing operations of a second cutoff valve (17) after performing the opening and closing operations of a first cutoff valve (12)), calculating the volume flow rate (Q) of process gas per unit hour discharged from the second cutoff valve (17) based on pressures (P) after filling and discharging the process gas in a gas filled volume (13) measured by a pressure sensor (14), and varying the pattern of the pulse shots to regulate the volume flow rate (Q) of the process gas discharged from the second cutoff valve (17) per unit hour.

[続葉有]

WO 03/034169 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(64) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

流量調整装置と流量調整方法であって、パルスショット式という新たな方式を用いることにより、従来の制約から解放させることを課題とする。パルスショット（第 1 遮断弁 12 の開閉動作を行った後に第 2 遮断弁（17）の開閉動作を行うこと）を繰り返すとともに、圧力センサー（14）で計測されたガス充填容積（13）のプロセスガスの充填後圧力・排出後圧力 P などに基づいて、単位時間あたりの、第 2 遮断弁（17）から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出し、さらに、パルスショットの態様を変化させることにより、単位時間あたりの、第 2 遮断弁（17）から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を調整する。

明 細 書

パルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法

5

技術分野

本発明は、ガスの体積流量を調整するためのパルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法に関する。

10 背景技術

従来、半導体製造装置等のガス供給システムにおいては、ガスの流量をコントロールするために、例えば、サーマル式マスフローコントローラ、ソニック型フローコントローラ、コリオリ式フローコントローラ、羽根車式フローコントローラ、超音波式フローコントローラ、カルマン渦式フローコントローラなどを使用していた。

しかしながら、これらを使用してガスの流量をコントロールするためには、(1)ガスの乱流を強制的に抑える必要があること、(2)測定子をガスの流路に介在させる必要があること、(3)ガスの圧力を制限する必要があることなど、多くの制約を受けていた。

そこで、本発明は、上述した問題点を解決するためになされた流量調整装置と流量調整方法であって、パルスショット式という新たな方式を用いることにより、従来の制約から解放させることを課題とする。

発明の開示

本発明の目的は、上述した問題点を解決するためになされた流量調整装置と流量調整方法であって、パルスショット式という新たな方式を用いることにより、従来の制約から解放させる
5 ことにある。

この課題を解決するためになされた本発明に係るパルスショット式流量調整装置は、ガス源に接続された第1遮断弁と、前記第1遮断弁に接続された第2遮断弁と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁の間のガス充填容積と、前記ガス充填容積の圧力を計測する圧力センサーと、を備えるパルスショット式流量調整装置であって、前記第1遮断弁の開閉動作を行った後に前記第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、前記圧力センサーで計測された前記ガス充填容積の充填後圧力・排出後圧力に基づいて、前記第2遮断弁から排出される
10 ガスの体積流量を算出する一方、前記パルスショットの態様を変化させることにより、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を調整すること、を特徴とするものである。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置においては、前記パルスショット毎に前記第2遮断弁から排出されるガスの体積を算出して積算することにより、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。
20

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置においては、前記パルスショットを繰り返して行う所定周期に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。
25

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置において

は、前記パルスショットを繰り返して行う所定周期を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置において
5 は、前記第 1 遮断弁又は前記第 2 遮断弁の開動作持続時間を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置において
は、前記ガス充填容積の温度を計測する温度センサーを備え、
10 前記温度センサーで計測された前記ガス充填容積の温度にも基づいて、前記第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置において
は、前記第 1 遮断弁の開閉動作を行った後から前記第 2 遮断弁
15 の開閉動作を行うまでの間（充填時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき充填後の熱平衡状態における充填後推定圧力を推定し、その充填後推定圧力を前記充填後圧力として用い、

前記第 2 遮断弁の開閉動作を行った後から前記第 1 遮断弁の
20 開閉動作を行うまでの間（排出時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき排出後の熱平衡状態における排出後推定圧力を推定し、その排出後推定圧力を前記排出後圧力として用いることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置において
25 は、前記第 1 遮断弁は、前記圧力センサーで計測される前記ガス充填容積の圧力が所定値以上になった場合に閉じられること

が望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整装置は、半導体製造装置で使用されることが望ましい。

あるいは、上記課題を解決するためになされた本発明に係る
5 パルスショット式流量調整方法は、ガス源に接続された第1遮断弁と、前記第1遮断弁に接続された第2遮断弁と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁の間のガス充填容積と、前記ガス充填容積の圧力を計測する圧力センサーと、を備えるパルスショット式流量調整方法であって、前記第1遮断弁の開閉動作を行っ
10 た後に前記第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、前記圧力センサーで計測された前記ガス充填容積の充填後圧力・排出後圧力に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出する一方、前記パルスショットの態様を変化させることにより、前記第2遮断弁から排出さ
15 れるガスの体積流量を調整すること、を特徴としている。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、前記パルスショット毎に前記第2遮断弁から排出されるガスの体積を算出して積算することにより、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。

20 また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、前記パルスショットを繰り返して行う所定周期に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、
25 は、前記パルスショットを繰り返して行う所定周期を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させることが

望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、記第 1 遮断弁又は前記第 2 遮断弁の開動作持続時間を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、前記ガス充填容積の温度を計測する温度センサーを備え、前記温度センサーで計測された前記ガス充填容積の温度にも基づいて、前記第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出することが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、前記第 1 遮断弁の開閉動作を行った後から前記第 2 遮断弁の開閉動作を行うまでの間（充填時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき充填後の熱平衡状態における充填後推定圧力を推定し、その充填後推定圧力を前記充填後圧力として用い、

前記第 2 遮断弁の開閉動作を行った後から前記第 1 遮断弁の開閉動作を行うまでの間（排出時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき排出後の熱平衡状態における排出後推定圧力を推定し、その排出後推定圧力を前記排出後圧力として用いることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法においては、前記第 1 遮断弁を、前記圧力センサーで計測される前記ガス充填容積の圧力が所定値以上になった場合に閉じることが望ましい。

また、本発明に係るパルスショット式流量調整方法において

は、半導体製造装置で使用されることが望ましい。

このような特徴を有する本発明のパルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法は、以下に説明するパルスショット式という新たな方式を用いることにより、ガスの体
5 積流量を調整する。

すなわち、第1遮断弁及び第2遮断弁が閉状態にあるときに、第1遮断弁の開閉動作を行った後に第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを1回行くと、第1遮断弁と第2遮断弁の間のガス充填容積の圧力が、第1遮断弁の開動作で上昇し、第2
10 遮断弁の開動作で下降する。従って、 i 回目のパルスショットにおいて、ガス充填容積の充填後圧力を $P_{i\text{fill}}$ 、ガス充填容積の排出後圧力を $P_{i\text{redu}}$ 、第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i とすると、 i 回目のパルスショットで第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i は、大気圧に換算すれば、以下の式
15 (1)で求められる。

$$Q_i = V (P_{i\text{fill}} - P_{i\text{redu}}) / 1.0332 * \alpha$$

… 式(1)

尚、「 V 」は、ガス充填容積の容積であり、「 α 」は修正係数(第1および第2遮断弁の流量特性などから発生する偏差の修
20 正項)である。

そして、本発明のパルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法では、パルスショットを繰り返すことから、例えば、 i 回目から j 回目のパルスショットにおいて、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量 $Q(i, j)$ は、以下の式
25 (2)で求められる。

$$Q(i, j) = Q_i + Q_{i+1} + \dots + Q_{j-1} + Q_j \quad \dots \text{式(2)}$$

また、パルスショットが所定周期 F で繰り返されている場合には、所定周期 F の逆数を r (回/秒) とすると、例えば、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)$ は、以下の式 (3) で求められる。

$$Q(i+1, i+r) = Q_{i+1} + Q_{i+2} + \dots + Q_{i+r-1} + Q_{i+r} \quad \dots \text{式 (3)}$$

もつとも、各パルスショットの第 2 遮断弁から排出されるガスの体積 $Q_{i+1}, Q_{i+2}, \dots, Q_{i+r-1}, Q_{i+r}$ が等しいとすれば、式 (3) は、例えば、以下の式 (4) に簡略して求めることができる。

$$Q(i+1, i+r) = r \times Q_{i+1} \quad \dots \text{式 (4)}$$

さらに、式 (4) の考え方を応用すれば、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから S 秒間の、第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量 $Q(S)$ は、以下の式 (5) で求めることができる。

$$Q(S) = S \times Q(i+1, i+r) \quad \dots \text{式 (5)}$$

尚、式 (5) においては、式 (3) の $Q(i+1, i+r)$ を使用してもよいし、式 (4) の $Q(i+1, i+r)$ を使用してもよい。

また、上述した式 (1) ~ 式 (5) によれば、パルスショットの態様を変化させることにより、第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量 Q をコントロールすることができる。

この点、具体的に言えば、例えば、パルスショットが所定周期 F で繰り返されている場合には、パルスショットを繰り返す所定周期 F を変化させれば、所定周期 F の逆数 r (回/秒) も変化するので、例えば、 i 回目のパルスショットの直後の 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁から排出されるガスの体積流量 Q

($i+1, i+r$)をコントロールすることができ、ひいては、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量 Q をコントロールすることができる。

また、上述した式(1)によれば、 i 回目のパルスショット
5 で第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i は、ガス充填容積の充填後圧力 $P_{i\text{ fill}}$ やガス充填容積の排出後圧力 $P_{i\text{ redu}}$ に左右される。この点、第1遮断弁の開動作持続時間を変化させれば、ガス充填容積の充填後圧力 $P_{i\text{ fill}}$ を変化させることができる場合があり、また、第2遮断弁の開動作持続時間を変化
10 させれば、ガス充填容積の排出後圧力 $P_{i\text{ redu}}$ を変化させることができる場合があるので、第1遮断弁の開動作持続時間や第2遮断弁の開動作持続時間を変化させることにより、 i 回目のパルスショットで第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i をコントロールでき、ひいては、第2遮断弁から排出されるガス
15 の体積流量 Q をコントロールすることができる。

また、上述した式(1)において、ガスの温度を考慮すれば、 i 回目のパルスショットで第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i は、 20°C 換算すると、以下の式(6)で求められる値になる。

$$20 \quad Q_i(T=20) = Q_i \times 293 / (T_i + 273) \quad \dots \text{式(6)}$$

尚、「 T_i 」は、 i 回目のパルスショットにおけるガス充填容積の温度($^\circ\text{C}$)であり、「 $Q_i(T=20)$ 」は、 i 回目のパルスショットで第2遮断弁から排出されるガスの体積 Q_i を 20°C 換算
25 した値である。

すなわち、本発明のパルスショット式流量調整装置とパルス

ショット式流量調整方法においては、パルスショット式という新たな方式を用いており、つまり、第1遮断弁の開閉動作を行った後に第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、圧力センサーで計測されたガス充填容積の充填後
5 圧力・排出後圧力に基づいて、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出し、さらに、パルスショットの態様を変化させることにより、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を調整しているので、(1) ガスの乱流に影響されることがなく、ガスの乱流を強制的に抑える層流管などの装置が不要となり、
10 (2) 細管などの測定子をガスの流路に介在させることが不要となり、(3) ガスの圧力が制限されることがなく、レギュレータなどの装置が不要となって、構成パーツがシンプルになるなど、従来の制約から解放させることができる。

また、半導体製造装置では、腐食性ガスが使用され、ガス置
15 換が行われ、ガス流路の切換などに遮断弁を使用することが多いので、本発明のパルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法を半導体製造装置で使用すれば、(4) 細管などの測定子を使用しないので、腐食による目詰まりなどの異常が発生せず、(5) デッドボリュームがないので、ガス置換を
20 確実に実行でき、(6) 第1遮断弁や第2遮断弁をガス流路の切換などに流用することにより、ガス流路の切換などに使用するための遮断弁を削減することができる。

図面の簡単な説明

25 第1図は、本発明のパルスショット式流量調整装置の概要を示した図である。

第2図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、ある条件の下での、第1遮断弁及び第2遮断弁の開閉動作とガス充填容積のプロセスガスの圧力波形の関係の一例を示した図である。

5 第3図は、本発明のパルスショット式流量調整装置において、ある条件の下での、1秒間のガス充填容積のプロセスガスの圧力波形の一例を示した図である。

第4図は、本発明のパルスショット式流量調整装置において、ガス充填容積の構成例を示した図である。

10 第5図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のフローチャート図とブロック図を兼ねた図である。

第6図は、本発明のパルスショット式流量調整装置において、ある条件の下での、第2遮断弁から排出されるプロセスガスの体積流量と第2遮断弁のデューティ比との関係の一例を示した
15 図である。

第7図は、本発明のパルスショット式流量調整装置の概要を示した図である。

第8図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合における第1遮断弁及び第2遮断弁の開閉動作とガス充填容積のプロセスガスの圧力波形の関係の一例を示した図である。
20

第9図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合の充填時における時定数の算出方法を説明するための図である。

25 第10図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に

における排出時における時定数の算出方法を説明するための図である。

第 1 1 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に
5 における充填後推定圧力および排出後推定圧力の算出方法を説明するための図である。

第 1 2 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行って N₂ガスおよび Ar ガスを流したときにおけるガス充填容積内の圧力波
10 形を示した図である。

第 1 3 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に、断熱変化に伴う温度変化を考慮して体積流量 Q を算出する際に、充填時に算出される各種データの値を表示した図である。

15 第 1 4 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に、断熱変化に伴う温度変化を考慮して体積流量 Q を算出する際に、排出時に算出される各種データの値を表示した図である。

20 第 1 5 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に、断熱変化に伴う温度変化を考慮して体積流量 Q を算出する際に、必要となる各種データおよび算出値を表示した図である。

25 第 1 6 図は、本発明のパルスショット式流量調整装置のパルスショットにおいて、高頻度なパルスショットを行った場合に、断熱変化に伴う温度変化を考慮しないで体積流量 Q を算出する際に、必要となる各種データおよび算出値を表示した図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図面を参照にして説明する。第 1 図に、パルスショット式流量調整装置 1 の概要を示す。第 1 5 図では、パルスショット式流量調整装置 1 は、手動弁 1 1 と、第 1 遮断弁 1 2、ガス充填容積 1 3、圧力センサー 1 4、温度センサー 1 5、第 2 遮断弁 1 7、コントローラ 1 9 などから構成されている。この点、第 1 遮断弁 1 2 と、圧力センサー 1 4、温度センサー 1 5、第 2 遮断弁 1 7 は、コントローラ 1 9 に接 10 続されている。従って、第 1 遮断弁 1 2 及び第 2 遮断弁 1 7 の開閉動作は、コントローラ 1 9 でそれぞれ制御することができる。また、圧力センサー 1 4 は、ガス充填容積 1 3 に対して設けられており、ガス充填容積 1 3 の圧力を電気信号に変換するものである。さらに、温度センサー 1 5 は、ガス充填容積 1 3 15 に対して設けられており、ガス充填容積 1 3 の温度を電気信号に変換するものである。従って、コントローラ 1 9 は、圧力センサー 1 4 及び温度センサー 1 5 を介して、ガス充填容積 1 3 の圧力や温度を検出することができる。

また、ここで、ガス充填容積 1 3 とは、第 1 遮断弁 1 2 及び 20 第 2 遮断弁 1 7 がともに閉状態にあるときに、第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 7 との間に形成される密閉空間をいう。具体的に言えば、例えば、第 4 図に示すように、第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 7 との間を、第 1 遮断弁 1 2 や、圧力センサー 1 4、第 2 遮断弁 1 7 などの各ブロック機器と、各流路ブロック 2 1、 25 2 2、2 3、2 4 とで構成する場合には、第 1 遮断弁 1 2 のベースブロック 1 2 B の出口側流路と、流路ブロック 2 2 の流路、

圧力センサー 14 のベースブロック 14 B の流路、流路ブロック 23 の流路、第 2 遮断弁 17 のベースブロック 17 B の入口側流路などが、ガス充填容積 13 に相当することになる。

尚、第 1 図（及び後述する第 7 図）では、ガス充填容積 13
5 の存在を強調するため、ガス充填容積 13 は、上記の定義とは若干異なる記載がなされている。

また、パルスショット式流量調整装置 1 は、第 1 図に示すように、半導体製造装置に組み込まれており、この点、手動弁 11 の上流側は、加圧されたプロセスガス源に接続されており、
10 また、第 2 遮断弁 17 の下流側は、真空引きされた真空槽に接続されている。

そして、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 は、コントローラ 19 によって、パルスショット（第 1 遮断弁 18 の開閉動作を行った後に第 2 遮断弁 17 の開閉動作を行うこと）を
15 繰り返すことにより、つまり、パルスショット式という新たな方式により、例えば、0.1 ~ 100 L/min のプロセスガスを真空槽へ供給する。

このとき、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、コントローラ 19 において、圧力センサー 14 で計測されたガス充填容積 13 のプロセスガスの充填後圧力 P_{fill} ・排出後圧力 P_{redu} に基づいて、かつ、温度センサー 15 で計測されたガス充填容積 13 のプロセスガスの温度 T に基づいて、第 2 遮断
20 弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出している。

25 具体的に言えば、第 1 遮断弁 12 及び第 2 遮断弁 17 が閉状態にあるときに、パルスショット（第 1 遮断弁 12 の開閉動作

を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)を1回行うと、第1遮断弁12と第2遮断弁17との間にあるガス充填容積13のプロセスガスの圧力が、第1遮断弁12の開動作で上昇し、第2遮断弁17の開動作で下降する。

- 5 従って、例えば、第2図に示すように、1回目のパルスショットにおいて、ガス充填容積13のプロセスガスの充填後圧力をP1fill、ガス充填容積13のプロセスガスの排出後圧力をP1redu、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積Q1とすると、第1図のパルスショット式流量調整装置1では、
- 10 1回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積Q1を、以下の式(1)'により、大気圧に換算して求める。

$$Q1 = V (P1fill - P1redu) / 1.0332 * \alpha$$

... 式(1)'

- 15 尚、「V」は、ガス充填容積13の容積であり、「 α 」は修正係数(第1遮断弁12および第2遮断弁17の流量特性などから発生する偏差の修正項)である。

- さらに、第1図のパルスショット式流量調整装置1では、上述した式(1)'において、ガス充填容積13のプロセスガスの
- 20 温度Tを考慮し、1回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積Q1を、以下の式(6)'により、20℃換算する。

$$Q1(T=20) = Q1 \times 293 / (T1 + 273)$$

... 式(6)'

- 25 尚、「T1」は、1回目のパルスショットにおけるガス充填容積13のプロセスガスの温度(℃)である。また、「Q1(T=20)」

は、1回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 Q_1 を20℃換算した値である。

また、第2図に示すように、2回目のパルスショットにおいて、ガス充填容積13のプロセスガスの充填後圧力を $P_{2\text{ fill}}$ 、
 5 ガス充填容積13のプロセスガスの排出後圧力を $P_{2\text{ redu}}$ 、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 Q_2 とすると、第1図のパルスショット式流量調整装置1では、上述した式
 (1)'と同様に、2回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 Q_2 を、以下の式
 10 (1)"により、大気圧に換算して求める。

$$Q_2 = V (P_{2\text{ fill}} - P_{2\text{ redu}}) / 1.0332 * \alpha$$

… 式(1)"

さらに、第1図のパルスショット式流量調整装置1では、上述した式(1)"においても、ガス充填容積13のプロセスガスの温度 T を考慮し、2回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 Q_2 を、以下の式(6)"により、20℃換算する。

$$Q_2(T=20) = Q_2 \times 293 / (T_2 + 273)$$

… 式(6)"

20 尚、「 T_2 」は、2回目のパルスショットにおけるガス充填容積13のプロセスガスの温度(℃)である。また、「 $Q_2(T=20)$ 」は、2回目のパルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 Q_2 を20℃換算した値である。

そして、第1図のパルスショット式流量調整装置1では、上述したパルスショット(第1遮断弁12の開閉動作を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)を繰り返すことから、

例えば、 i 回目から j 回目のパルスショットにおいて、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i, j)$ は、 20°C 換算すれば、以下の式 (2)' で求められる。

$$Q(i, j)(T=20) = Q_i(T=20) + \dots + Q_{j-1}(T=20) + Q_j(T=20) \quad \dots \text{式 (2)'} \quad 5$$

尚、「 $Q(i, j)(T=20)$ 」は、 i 回目から j 回目のパルスショットにおいて第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i, j)$ を 20°C 換算した値である。

従って、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、式 (2)' を使用することにより、例えば、単位時間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されたプロセスガスの体積流量 Q を、現在や過去のいずれの時点のものであっても、 20°C 換算で求めることができる。

また、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 において、第 2 図に示すように、パルスショットが所定周期 F (例えば、 0.1 秒) で繰り返されている場合には、所定周期 F の逆数を r (回/秒) とすると、例えば、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)$ は、 20°C 換算すれば、以下の式 (3)' で求められる。

$$Q(i+1, i+r)(T=20) = Q_{i+1}(T=20) + \dots + Q_{i+r}(T=20) \quad \dots \text{式 (3)'} \quad 15$$

尚、「 $Q(i+1, i+r)(T=20)$ 」は、パルスショットが所定周期 F (すなわち、 r (回/秒)) で繰り返されている場合において、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから 1 秒間あたりに、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)$ 25

を 20℃換算した値である。

もつとも、第 1 図において、例えば、パルスショット式流量調整装置 1 の上流側のプロセスガス源やパルスショット式流量調整装置 1 の下流側の真空槽の圧力条件が安定している場合には、(i+1) 回目から (i+r) 回目までの各パルスショットで、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 $Q_{i+1}(T=20)$, ..., $Q_{i+r}(T=20)$ の値は等しくなる。

そこで、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、パルスショット式流量調整装置 1 の上流側のプロセスガス源やパルスショット式流量調整装置 1 の下流側の真空槽の圧力条件が安定している場合には、式 (3)' を、例えば、以下の式 (4)' に簡略して使用している。

$$Q(i+1, i+r)(T=20) = r \times Q_{i+1}(T=20) \quad \dots \text{式 (4) '}$$

従って、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、式 (4)' を使用することにより、(i+1) 回目のパルスショットから 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)$ を、(i+1) 回目から (i+r) 回目までの各パルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 $Q_{i+1}(T=20)$, ..., $Q_{i+r}(T=20)$ のいずれか一つを用いて、20℃換算で求めることができる。

さらに、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、式 (4)' の考え方を応用して、(i+1) 回目のパルスショットから S 秒間の、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(S)$ を、以下の式 (5)' により、20℃換算で求めている。

$$Q(S)(T=20) = S \times Q_{i+1, i+r}(T=20) \quad \dots \text{式 (5) '}$$

尚、「 $Q(S)(T=20)$ 」は、パルスショットが所定期期 F （すなわち、 r (回/秒))で繰り返されている場合において、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから S 秒間あたりに、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(S)$ を 20°C 換算した値である。

そして、式(5)'では、 $Q(i+1, i+r)(T=20)$ について、式(3)'のものを使用してもよいし、式(4)'のものを使用してもよい。

従って、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、式(5)'を使用することにより、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから S 秒間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(S)$ を、 $(i+1)$ 回目から $(i+r)$ 回目までの各パルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 Q_{i+1}, \dots, Q_{i+r} の総和を用いて、 20°C 換算で求めることもできるし、また、 $(i+1)$ 回目から $(i+r)$ 回目までの各パルスショットにおいて第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 Q_{i+1}, \dots, Q_{i+r} のいずれか一つを用いて、 20°C 換算で求めることもできる。

また、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、上述した式(1)'～式(5)'に基づき、パルスショット（第 1 遮断弁 12 の開閉動作を行った後に第 2 遮断弁 17 の開閉動作を行うこと）の態様を変化させることにより、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q をコントロールする。

この点、具体的に言えば、例えば、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 において、第 2 図に示すように、パルスショットが所定期期 F で繰り返されている場合には、パルスショッ

トを繰り返す所定周期 F を変化させれば、所定周期 F の逆数 r (回/秒) も変化するので、式 (3)' , 式 (4)' , 式 (5)' により、例えば、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)(T=20)$ をコントロールすることができる。

従って、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、パルスショット (第 1 遮断弁 12 の開閉動作を行った後に第 2 遮断弁 17 の開閉動作を行うこと) を繰り返す所定周期 F を変化させることにより、例えば、 $(i+1)$ 回目のパルスショットから 1 秒間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 $Q(i+1, i+r)(T=20)$ をコントロールすることができ、ひいては、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q をコントロールすることができる。

また、上述した式 (1)' によれば、1 回目のパルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 Q_1 は、ガス充填容積 13 のプロセスガスの充填後圧力 $P_{1\text{ fill}}$ やガス充填容積 13 のプロセスガスの排出後圧力 $P_{1\text{ redu}}$ に左右される。

そこで、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、例えば、第 2 図において、第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 t_1 を変化させれば、ガス充填容積 13 のプロセスガスの排出後圧力 $P_{1\text{ redu}}$ を変化させることができるので、第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 t_1 を変化させることにより、1 回目のパルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 Q_1 をコントロールすることができる。また、同様にして、第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 t_2 を変化させれば、ガス充填

容積 13 のプロセスガスの排出後圧力 $P_{2\text{ redu}}$ を変化させることができるので、第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 t_2 を変化させることにより、2 回目のパルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 Q_2 をコントロールできる。

- 5 従って、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 では、パルスショット（第 1 遮断弁 12 の開閉動作を行った後に第 2 遮断弁 17 の開閉動作を行うこと）を構成する第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 t_1, t_2, \dots を変化させることにより、各パルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの
10 体積 Q_1, Q_2, \dots をコントロールすることができ、ひいては、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q をコントロールすることができる。

- また、第 1 図のパルスショット式流量調整装置 1 において、第 2 図や第 3 図に示すように、パルスショットが所定周期 F で
15 繰り返され、所定周期 F の逆数が r （回／秒）であるとする場合には、同様にして、 $(i+1)$ 回目から $(i+r)$ 回目までの各パルスショットの第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間 $t_{i+1}, t_{i+2}, t_{i+3}, \dots, t_{i+r}$ を変化させれば、 $(i+1)$ 回目から $(i+r)$ 回目までの各パルスショットのガス充填容積 13 のプロ
20 セスガスの排出後圧力 $P_{i+1\text{ redu}}, P_{i+2\text{ redu}}, P_{i+3\text{ redu}}, \dots, P_{i+r\text{ redu}}$ （図示せず）を変化させることができるので、 $(i+1)$ 回目から $(i+r)$ 回目までの各パルスショットで第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積 $Q_{i+1}(T=20), Q_{i+2}(T=20), Q_{i+3}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20)$ をコントロールでき、
25 ひいては、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q をコントロールすることができる。

尚、第1図のパルスショット式流量調整装置1において、パルスショット式流量調整装置1の上流側のプロセスガス源やパルスショット式流量調整装置1の下流側の真空槽の圧力条件が安定している場合には、 $(i+1)$ 回目以降の各パルスショット

5 の第2遮断弁17の開動作持続時間 t_{i+1} , t_{i+2} , t_{i+3} , ..., t_{i+r} , ...を一律に同じ値に変化させれば、 $(i+1)$ 回目以降の各パルスショットのガス充填容積13のプロセスガスの排出後圧力 $P_{i+1\text{redu}}$, $P_{i+2\text{redu}}$, $P_{i+3\text{redu}}$, ..., $P_{i+r\text{redu}}$, ... (図示せず)が一律に同じ値に変化し、 $(i+1)$ 回目以降の各

10 パルスショットで第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 $Q_{i+1}(T=20)$, $Q_{i+2}(T=20)$, $Q_{i+3}(T=20)$, ..., $Q_{i+r}(T=20)$, ...も一律に同じ値に変化するので、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を比較的容易にコントロールすることができる。

15 次に、第1図のパルスショット式流量調整装置1が実施するパルスショット式流量調整方法の一例について、第5図に基づいて説明する。第5図に示すパルスショット式流量調整方法は、パルスショット式流量調整装置1のコントローラ19により行われるフィードバック制御である。すなわち、先ず、S10において、単位時間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q が、「流量指令値」として入力される。

20 一方、S11では、現在の、単位時間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q が、「計算流量値」として取得される。そして、S12において、「流量指令値」と

25 「計算流量値」との差からなる制御偏差を求める。

次に、S13では、S12で求めた制御偏差を「0」にする

ために、上述した式(1)' ~ 式(5)', 式(6)', 式(6)"
に基づき、各パルスショット(第1遮断弁12の開閉動作を行
った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)の所定周期を
変更するか、各パルスショット(第1遮断弁12の開閉動作を
5 行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)での第2遮
断弁17の開動作持続時間を変更するかを決定し、その決定内
容を、パルスショット式流量調整装置1のコントローラ19に
内蔵された制御回路に伝達する。ここで、各パルスショットの
所定周期を変更すると決定した場合には、S14に進んで、パ
10 ルスショット式流量調整装置1のコントローラ19に内蔵され
た基本パルス出力回路を介して、各パルスショットの所定周期
を変更する。一方、各パルスショットの第2遮断弁17の開動
作持続時間を変更するとした場合には、S15に進んで、パル
スショット式流量調整装置1のコントローラ19に内蔵された
15 デューティ比可変回路を介して、各パルスショットでの第2遮
断弁17の開動作持続時間を変更する。

その後、S16において、圧力センサー14で計測されたガ
ス充填容積13のプロセスガスの充填後圧力 P_{fill} ・排出後圧
力 P_{redu} に基づいて、かつ、温度センサー15で計測されたガ
20 ス充填容積13のプロセスガスの温度 T に基づいて、上述した
式(1)' ~ 式(5)', 式(6)', 式(6)"などにより、
単位時間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガ
スの体積流量 Q を算出し、S11での「計算流量値」とする。

これにより、パルスショット式流量調整装置1では、単位時
25 間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体
積流量 Q について、フィードバック制御することが可能となる

が、条件によっては、例えば、第6図に示すように、不感帯が存在することもある。

尚、第6図の「デューティ比」とは、第2遮断弁17において、当該開動作から次回の開動作までの時間間隔に対する当該開動作の持続時間の割合(%)をいう。

以上、詳細に説明したように、パルスショット式流量調整装置1と、パルスショット式流量調整装置1で実施されるパルスショット式流量調整方法においては、パルスショット(第1遮断弁12の開閉動作を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)を繰り返すとともに、圧力センサー14で計測されたガス充填容積13のプロセスガスの充填後圧力 P_{fill} ・排出後圧力 P_{redu} などに基づいて、上述した式(1)～式(5)などより、単位時間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出し(S16)、さらに、パルスショットの態様(第1遮断弁12の開閉動作を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと)を変化させることにより(S14, S15)、つまり、パルスショット式という新たな方式を用いることにより、単位時間あたりの、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を調整している。

従って、パルスショット式流量調整装置1と、パルスショット式流量調整装置1で実施されるパルスショット式流量調整方法においては、図1に示すように、(1)プロセスガスの乱流に影響されることがなく、プロセスガスの乱流を強制的に抑える層流管などの装置が不要となり、(2)細管などの測定子をプロセスガスの流路に介在させることが不要となり、(3)プロセスガスの圧力が制限されることがなく、レギュレータなどの装置

が不要となって、構成パーツがシンプルになるなど、従来の制約から解放させることができる。

また、半導体製造装置では、腐食性ガスが使用され、ガス置換が行われ、ガス流路の切換などに遮断弁を使用することが多いが、この点、パルスショット式流量調整装置 1 と、パルスショット式流量調整装置 1 で実施されるパルスショット式流量調整方法は、第 1 図に示すように、半導体製造装置で使用されていることから、(4) 細管などの測定子を使用しないので、腐食による目詰まりなどの異常が発生せず、(5) デッドボリュームがないので、ガス置換を確実に実行でき、(6) 第 1 遮断弁 12 や第 2 遮断弁 17 をガス流路の切換などに流用することにより、ガス流路の切換などに使用するための遮断弁を削減することができる。

ここで、本出願人による実験を通じて、充填・排出サイクルの周期が 1 秒を下回るような高頻度のパルスショットを行ったときには、ガス充填容積 13 におけるプロセスガスの圧力波形は、第 8 図に示すようなものになることを突き止めた。すなわち、このような高頻度のパルスショットを行うと、充填時には断熱圧縮によりガス充填容積 13 のプロセスガスの温度上昇が発生し、排出時には断熱膨張によりガス充填容積 13 のプロセスガスの温度下降が発生する。このために、ガス充填容積 13 におけるプロセスガスの圧力波形は、第 8 図に示すようなものになるのである。

これは、充填時・排出時においてそれぞれの温度変化が発生した後、ガス充填容積 13 において熱交換が起こるからである。そして、充填・排出サイクルの周期が短くなると、充填・排出

後の封止状態においても熱交換が継続し、温度、圧力ともに変化し続ける。したがって、その間において圧力の測定を行っても意味がなく、熱交換が完了、あるいは精度的に問題のない温度まで戻ってから圧力を測定して、流量計算に使用する必要がある。

しかしながら、それでは高頻度のパルスショット行う場合には、高精度の流量測定が行えない。この問題を解消するために、温度変化分を見込み、一定のタイミングで圧力を測定し、修正係数を乗算して使用方法もあるが、断熱圧縮・膨張による温度変化は、ガス種固有の比熱比と充填・排出前後の圧力比によって決まるため一定でなく、事前に必要な条件での流量検定により、修正係数を求めておく必要があり実用的でない。

そして、本発明におけるパルスショット方式においても、流量が変化すると、ガス充填容積 1.3 のプロセスガスの平均温度が変化する。これは、一定流量発生時には、排出時の断熱膨張による温度下降したプロセスガスが密封時にガス充填容積 1.3 により暖められ、それが再び充填による断熱圧縮をガス充填容積 1.3 内で受けるため、断熱膨張前より温度上昇を起こす。この上昇分の温度とガス充填容積 1.3、その外気、および周辺装置との間で、平衡状態となる温度まで変化する。そして、断熱膨張による温度低下の程度が、流量によって異なるため、平衡状態温度も変わる。

このため、この温度上昇分の精度劣化を許容するか、あるいは、この温度上昇分が影響のない温度まで回復するのを待つ必要があるが、これでは低頻度のパルスショットしか行うことができず、やはり実用的でない。

そこで、温度センサー 15 の測定値を利用することが考えられる。気体の状態方程式からいえば、ガス充填容積 13 における充填・排出後の密封状態において、任意の時点での瞬間的な圧力と温度を計測することができれば状態方程式化することができ、その時点でのガス充填容積 13 におけるプロセスガスのモル数を特定することができ、ひいては第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出することができるからである。

すなわち、充填後のガス充填容積内におけるプロセスガスの状態方程式は

$$P_{fill} * V = n_{fill} * R * T_{fill}$$

となるから、充填後のガス充填容積内におけるプロセスガスのモル数は、

$$n_{fill} = (P_{fill} * V) / (R * T_{fill})$$

となる。なお、「 n_{fill} 」は、充填時のガス充填容積内におけるプロセスガスのモル数であり、「 R 」は、気体定数であり、「 T_{fill} 」は充填後のガス充填容積内におけるプロセスガスの温度である。

一方、排出後のガス充填容積内におけるプロセスガスの状態方程式は

$$P_{redu} * V = n_{redu} * R * T_{redu}$$

であるから、排出後のガス充填容積内におけるプロセスガスのモル数は

$$n_{redu} = (P_{redu} * V) / (R * T_{redu})$$

となる。なお、「 n_{redu} 」は、排出後のガス充填容積内におけるプロセスガスのモル数であり、「 T_{redu} 」は排出後のガス充

填充容積内におけるプロセスガスの温度である。

これらより、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスのモル数 n_{ex} は

$$\begin{aligned} n_{ex} &= n_{fill} - n_{redu} \\ 5 \quad &= (P_{fill} * V) / (R * T_{fill}) \\ &\quad - (P_{redu} * V) / (R * T_{redu}) \\ &= V / R (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu}) \end{aligned}$$

となる。したがって、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積 V_{ex} は

$$\begin{aligned} 10 \quad V_{ex} &= n_{ex} * R * 273.15 / 101.3 \\ &= 2.8962 * R * n_{ex} \\ &= 2.8962 * V * (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu}) \end{aligned}$$

となる。よって、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの

15 の体積流量 Q は

$$\begin{aligned} Q &= V_{ex} * r * 60 \\ &= 181.17 * r * V \\ &\quad * (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu}) \quad \dots \text{式 (7)} \end{aligned}$$

となる。

20 したがって、ガス充填容積13における充填・排出後の密封状態において、任意の時点での瞬間的な圧力と温度を計測することができれば、式(7)により、第2遮断弁17から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出することができるのである。

25 しかしながら、密度の低いガス温度の高速測定は極めて困難であり実用的でない。なぜなら、特に、腐食性のあるガスの温

度を測定するための温度センサーは、一般的に、耐食性のある金属、樹脂、あるいはセラミックスなどで被覆されており、熱量が大きく、速い応答性が得られない。また、極細の熱電対や半導体シリコン製温度センサーでは、速い応答性が得られるが、腐食性ガスの温度測定を行うことができない。このように、現状では、高速の断熱圧縮・膨張に伴う温度変化をリアルタイムで測定することができる耐食性温度センサーが存在しないからである。つまり、温度センサー 15 によってガス充填容積 13 内のプロセスガスの温度変化をリアルタイムに測定することは現状では不可能なのである。

これに対して、圧力の測定であれば、1 秒以下の応答性で測定が可能である。そこで、本実施の形態に係るパルスショット式流量調整装置 1 と、パルスショット式流量調整装置 1 で実施されるパルスショット式流量調整方法では、温度変化に比例する圧力変化を測定することにより、高精度の流量測定を可能としている。

すなわち、まず、充填後の封止状態で、圧力値と圧力変化率から、熱平衡状態における圧力を推定する。例えば、圧力変化カーブの接線を一定時間間隔で計測した圧力値から求め、事前に求めた時定数後の圧力を演算し、それを充填後の熱平衡時における圧力とする。

同様に、排出後の封止状態で、圧力値と圧力変化率から、熱平衡状態における圧力を推定する。例えば、圧力変化カーブの接線を一定時間間隔で計測した圧力値から求め、事前に求めた時定数後の圧力を演算し、それを排出後の熱平衡時における圧力とする。

なお、密封時の圧力変化は単純な 1 次応答とは限らないため、熱平衡状態における圧力は、ガス種、1 次圧力、排出による圧力降下量などにより、適切な時定数を切り替えて使用して演算することとなる。

- 5 そして、このようにして演算された充填・排出それぞれの圧力（充填後推定圧力、排出後推定圧力）を充填後圧力 P_{fill} 、排出後圧力 P_{redu} とし、また、温度センサー 15 から求めた平均温度を平衡温度として、式（7）により、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出する。
- 10 そこで、上記の考え方にに基づき、パルスショット式流量調整装置 1 のコントローラ 19 において実行される第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出する方法について説明する。まず、時定数の求め方について、第 9 図および第 10 図を用いて説明する。なお、ここにおける圧力変化は、
- 15 一次応答から外れているため、正解な意味での時定数とは言えないが、概念的に近いため便宜上「時定数」という言葉を使用する。

- まずは、ガス充填容積 13 に対するプロセスガスの充填時における時定数を求める場合について、第 9 図を参照しつつ説明
- 20 する。最初に、第 1 遮断弁 12 の閉時点を t_0 （時間の基準点とする）とし、第 1 遮断弁 12 の応答遅れ時間（約 1 m s e c）に余裕を見込んで、確実に、第 1 遮断弁の閉止後の圧力変化を検出することができる時間 t_1 が経過した後（例えば、3 m s e c 経過後、 $t_1 = 3$ m s e c）に、1 回目の圧力測定を圧力
- 25 センサー 14 により行う。このときの測定値を（ t_1 , p_1 ）と表示する。さらに一定時間が経過した後（例えば、1 m s e c

経過後、 $t_2 = 4 \text{ msec}$) に、2 回目の圧力測定を圧力センサー 14 により行う。このときの測定値を (t_2, p_2) と表示する。その後、さらに一定時間が経過した後（例えば、 1 msec 経過後、 $t_3 = 5 \text{ msec}$) に、3 回目の圧力測定を圧力
5 センサー 14 により行う。このときの測定値を (t_3, p_3) と表示する。

なお、圧力測定の時間間隔は、同一時間である必要はないが、固定した時間であることが必要である。また、各測定点における圧力は、ノイズ等の影響を受けにくくするために、複数回の
10 測定（例えば、 $10 \mu\text{sec}$ ごとに 8 回測定）を行い、その平均値を使用するようにするとよい。

さらに、充分な時間が経過した後（例えば、 1 sec 経過後、 $t_4 = 1005 \text{ msec}$) に、4 回目の圧力測定を圧力センサー 14 により行う。このときの測定値を (t_4, p_4) と表示す
15 る。

そして、上記の測定結果から充填時における圧力変化の時定数 ΔT_s を求める。ここでは、一例として、 t_2 時点における時定数を求める。まず、 (t_1, p_1) 、 (t_2, p_2) 、 (t_3, p_3) 、 (t_4, p_4) より、 (t_2, p_2) を通る接線 L の式を次式によ
20 り求める。

$$\begin{aligned} \text{接線 L : } P = & (p_3 - p_1) / (t_3 - t_1) \\ & * (t - t_2) + p_2 \quad \cdots \text{ 式 (8)} \end{aligned}$$

なお、ここでは簡易な方法により接線 L の式を求めているが、これ以外にも例えば、最小二乗法を使用して接線 L の式を求め
25 てもよい。

続いて、接線 L が p_4 と一致する時間を求め、そこから t_2 を

減算する。その結果として算出されたものが、 t_2 時点における時定数 ΔT_s となる。式で表すと次式のようになる。

$$\Delta T_s = (p_4 - p_2) * (t_3 - t_1) / (p_3 - p_1) - t_2$$

なお、第9図中に示す $\Delta P (= p_4 - p_2)$ は、 p_2 から平衡
5 温度における圧力 p_4 までの圧力降下分であり、これはそのまま温度低下量を反映している。

次に、ガス充填容積13におけるプロセスガスの排出時の時定数を求める場合について、第10図を参照しつつ説明する。
最初に、第2遮断弁17の閉時点をも t_0' （時間の基準点とする）とし、第2遮断弁17の応答遅れ時間（約1 msec）に
10 余裕を見込んで、確実に、第2遮断弁17の閉止後の圧力変化を検出することができる時間 t_1' が経過した後（例えば、3 msec経過後、 $t_1' = 3 \text{ msec}$ ）に、1回目の圧力測定を圧力センサー14により行う。このときの測定値を（ t_1' ,
15 p_1' ）と表示する。さらに一定時間が経過した後（例えば、1 msec経過後、 $t_2' = 4 \text{ msec}$ ）に、2回目の圧力測定を圧力センサー14により行う。このときの測定値を（ t_2' ,
 p_2' ）と表示する。その後、さらに一定時間が経過した後（例えば、1 msec経過後、 $t_3' = 5 \text{ msec}$ ）に、3回目の
20 圧力測定を圧力センサー14により行う。このときの測定値を（ t_3' , p_3' ）と表示する。

なお、圧力測定の時間間隔は、同一時間である必要はないが、固定した時間であることが必要である。また、各測定点における圧力は、ノイズ等の影響を受けにくくするために、複数回の
25 測定（例えば、10 μsec ごとに8回測定）を行い、その平均値を使用するようにするとよい。

さらに、充分な時間が経過した後（例えば、1 s e c 経過後、 $t 4' = 1 0 0 5 \text{ m s e c}$ ）に、4 回目の圧力測定を圧力センサー 1 4 により行う。このときの測定値を $(t 4', p 4')$ と表示する。

- 5 そして、上記の測定結果から排出時における圧力変化の時定数 $\Delta T e$ を求める。ここでは、一例として、 $t 2'$ 時点における時定数を求める。まず、 $(t 1', p 1')$, $(t 2', p 2')$, $(t 3', p 3')$, $(t 4', p 4')$ より、 $(t 2', p 2')$ を通る接線 L' の式を次式により求める。

$$10 \quad \text{接線 } L' : P = (p 3' - p 1') / (t 3' - t 1') \\ * (t - t 2') + p 2' \quad \dots \text{ 式 (9)}$$

なお、ここでは簡易な方法により接線 L' の式を求めているが、これ以外にも例えば、最小二乗法を使用して接線 L' の式を求めてもよい。

- 15 続いて、接線 L' が $p 4'$ と一致する時間を求め、そこから $t 2'$ を減算する。その結果として算出されたものが、 $t 2'$ 時点における時定数 $\Delta T s$ となる。式で表すと次式のようなになる。

$$\Delta T s = (p 4' - p 2') * (t 3' - t 1') \\ / (p 3' - p 1') - t 2'$$

- 20 なお、第 1 0 図中に示す $\Delta P'$ ($= p 4' - p 2'$) は、 $p 2'$ から平衡温度における圧力 $p 4'$ までの圧力降下分であり、これはそのまま温度低下量を反映している。

- そして、上記のようにして算出された時定数 ΔP , $\Delta P'$ を用いて、第 2 遮断弁 1 7 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出する。この算出方法について、第 1 0 図を参照しつつ説明する。なお、プロセスガスの体積流量 Q を算出もコント
- 25

ローラ 19 により行われる。

プロセスガスの体積流量 Q は、パルスショット 1 周期ごとに次の演算を行うことにより算出する。まず、第 1 遮断弁 12 を開き、ガス充填容積 13 に対し規定時間のプロセスガスの充填
5 を行う。そして、第 1 遮断弁 12 を閉じた時点から規定時間 t_1 が経過した後に、圧力センサー 14 により圧力 p_1 を測定する。同様に、第 1 遮断弁 12 を閉じた時点から規定時間 t_2 が経過した後に、圧力センサー 14 により圧力 p_2 を測定する。また、第 1 遮断弁 12 を閉じた時点から規定時間 t_3 が経過した後に、
10 圧力センサー 14 により圧力 p_3 を測定する。そして、この 3 点における時間と圧力の組み合わせから、 (t_2, p_2) を通る接線 L の式を式 (8) により求める。

そして、既知の時定数 ΔT_s 後の圧力 P_s を次式により求め、これを充填後の安定圧力 (充填後推定圧力) P_s とする。

15
$$P_s = (p_3 - p_1) / (t_3 - t_1) * \Delta T_s + p_2$$

その後、調整された所定時間が経過した後に、第 2 遮断弁 17 を開きプロセスガスの排気を行ってから、第 2 遮断弁 17 を閉じる。そして、第 2 遮断弁 17 を閉じた時点から規定時間 t_1' が経過した後に、圧力センサー 14 により圧力 p_1' を測定
20 する。同様に、第 2 遮断弁 17 を閉じた時点から規定時間 t_2' が経過した後に、圧力センサー 14 により圧力 p_2' を測定する。また、第 2 遮断弁 17 を閉じた時点から規定時間 t_3' が経過した後に、圧力センサー 14 により圧力 p_3' を測定する。そして、この 3 点における時間と圧力の組み合わせから、 (t_2', p_2') を通る接線 L' の式を式 (9) により求める。
25

そして、既知の時定数 ΔT_e 後の圧力 P_e を次式により求め、

これを排出後の安定圧力（排出後推定圧力） P_e とする。

$$P_e = (p_{3'} - p_{1'}) / (t_{3'} - t_{1'}) * \Delta T_e + p_{2'}$$

以上のようにして求めた P_s 、 P_e を使用して、1サイクルのパルスショットにおいて第2遮断弁17から排出される体積

5 流量 ΔQ を次式により求める。

$$\Delta Q = V (P_s - P_e) / T$$

なお、「 T 」は、ガス充填容積13における平均温度（絶対温度）である。

ここでは、安定時の圧力 P_s 、 P_e を推定したが、 t_2 、 $t_{2'}$
10 時点での温度 T_2 、 $T_{2'}$ を推定し、1サイクルのパルスショットにおいて第2遮断弁17から排出される体積流量 ΔQ を次式から求めることもできる。

すなわち、 $T_2 = T * p_2 / P_s$ 、 $T_{2'} = T * p_{2'} / P_e$ であるから

$$15 \quad \Delta Q = V (p_2 / T_2 - p_{2'} / T_{2'})$$

として体積流量 ΔQ を求めることができる。

そして、上記のようにして算出された体積流量 ΔQ に基づき、コントローラ19により流量調整が行われる。具体的には、流量指令値から演算される1サイクルのパルスショットにおいて
20 第2遮断弁17から排出される体積流量 ΔQ_0 に対する ΔQ の偏差をもとに、次サイクルのパルスショットにおいて第2遮断弁17に印加するパルス幅を適宜増減させる。つまり、 ΔQ が ΔQ_0 より少ないようであれば、パルス幅を増加させ、 ΔQ が ΔQ_0 より多いようであれば、パルス幅を減少させる。パルス
25 幅の増減方法としては、偏差に対し比例的に与える比例制御、偏差を一定率で加算していく積分制御、および急な偏差の変化

に対して大きめの修正動作を与える微分制御などを適宜組み合わせればよい。

続いて、2種類のガス（N₂とAr）をパルスショット式流量調整装置1に規定流量（800 sccm）流したときに、コントローラ19において算出される体積流量Qを調べたので、その結果を第13図～第15図に示す。なお、第13図は、充填時における各種データを表示したものであり、第14図は、排出時における各種データを表示したものであり、第15図は、算出結果を表示したものである。また、そのときにおける圧力波形を第12図に示す。

第12図に示すように、ガス種により圧力変化の割合が異なる。これは、ガス種により比熱比が異なるからである。そして、今回使用したN₂ガスとArガスとでは、比熱比のより大きなArガスの方が温度変化が大きいため、圧力変化も大きくなっていることがわかる。

まず、N₂ガスについての体積流量Qの算出における各種データを考察する。N₂ガスの充填時においては、第13図に示すように、ガス充填容積13に対しN₂ガスを充填して第1遮断弁12を閉じた時刻t₀における圧力は、 $p_1 = 350.39$ kPaであった。それから3 msecが経過した時刻t₁での圧力は、 $p_1 = 350.22$ kPaであった。さらに、1 msecが経過した時刻t₂での圧力は、 $p_2 = 350.13$ kPaであった。またさらに、1 msecが経過した時刻t₃での圧力は、 $p_3 = 349.97$ kPaであった。このように、第2遮断弁17を閉じてから徐々にガス充填容積13内のN₂ガスの圧力が低下していることがわかる。そして、計測された圧力

に基づき、 t_2 時点における時定数が $\Delta T_s = 16 \text{ msec}$ と算出され、この時定数 ΔT_s 後の圧力が $P_s = 348.1 \text{ kPa}$ と算出された。

一方、 N_2 ガスの排出時においては、第14図に示すように、
5 第2遮断弁17を開けてガス充填容積13から N_2 ガスを排出した後に第2遮断弁17を閉じた時刻 t_0' における圧力は、 $p_1' = 288.08 \text{ kPa}$ であった。それから 4 msec が経過した時刻 t_1' での圧力は、 $p_1' = 287.17 \text{ kPa}$ であった。さらに、 1 msec が経過した時刻 t_2' での圧力は、
10 $p_2' = 287.39 \text{ kPa}$ であった。またさらに、 1 msec が経過した時刻 t_3' での圧力は、 $p_3' = 287.55 \text{ kPa}$ であった。このように、第2遮断弁17を閉じてから徐々にガス充填容積13内の N_2 ガスの圧力が上昇していることがわかる。そして、計測された圧力に基づき、 t_2' 時点における
15 時定数が $\Delta T_e = 50 \text{ msec}$ と算出され、この時定数 ΔT_e 後の圧力が $P_e = 296.8 \text{ kPa}$ と算出された。

そして、 N_2 ガスの平均温度は $T = 300 \text{ K}$ であり、ガス充填容積13の体積は $V = 1.75 \text{ cc}$ であり、パルス周波数は
 $r = 16.67 \text{ Hz}$ であるから、第15図に示すように、第2
20 遮断弁17から排出される体積流量は、 $Q = 807.4 \text{ sccm}$ と算出された。そして、この算出結果の誤差は、 0.92% であり非常に小さい。すなわち、非常に精度よく第2遮断弁17から排出される体積流量 Q が算出されたと言える。

次に、 Ar ガスについての体積流量 Q の算出における各種データ
25 一考察する。第13図に示すように、ガス充填容積13に対し Ar ガスを充填して第1遮断弁12を閉じた時刻 t_0 にお

ける圧力は、 $p_1 = 350.00 \text{ kPa}$ であった。それから 3 msec が経過した時刻 t_1 での圧力は、 $p_1 = 349.56 \text{ kPa}$ であった。さらに、 1 msec が経過した時刻 t_2 での圧力は、 $p_2 = 349.41 \text{ kPa}$ であった。またさらに、 1 msec が経過した時刻 t_3 での圧力は、 $p_3 = 349.12 \text{ kPa}$ であった。このように、第2遮断弁17を閉じてから徐々にガス充填容積13内のArガスの圧力が低下していることがわかる。そして、計測された圧力に基づき、 t_2 時点における時定数が $\Delta T_s = 13 \text{ msec}$ と算出され、この時定数 ΔT_s 後の圧力が $P_s = 346.6 \text{ kPa}$ と算出された。

一方、Arガスの排出時においては、第14図に示すように、第2遮断弁17を開けてガス充填容積13からArガスを排出した後に第2遮断弁17を閉じた時刻 t_0' における圧力は、 $p_1' = 281.98 \text{ kPa}$ であった。それから 4 msec が経過した時刻 t_1' での圧力は、 $p_1' = 282.01 \text{ kPa}$ であった。さらに、 1 msec が経過した時刻 t_2' での圧力は、 $p_2' = 282.32 \text{ kPa}$ であった。またさらに、 1 msec が経過した時刻 t_3' での圧力は、 $p_3' = 282.66 \text{ kPa}$ であった。このように、第2遮断弁17を閉じてから徐々にガス充填容積13内のArガスの圧力が上昇していることがわかる。そして、計測された圧力に基づき、 t_2' 時点における時定数が $\Delta T_e = 42 \text{ msec}$ と算出され、この時定数 ΔT_e 後の圧力が $P_e = 296.1 \text{ kPa}$ と算出された。

そして、Arガスの平均温度は $T = 300 \text{ K}$ であり、ガス充填容積13の体積は $V = 1.75 \text{ cc}$ であり、パルス周波数は $r = 16.67 \text{ Hz}$ であるから、第15図に示すように、第2

遮断弁 17 から排出される体積流量は、 $Q = 794.0 \text{ sccm}$ と算出された。そして、この算出結果の誤差は、 0.75% であり非常に小さい。すなわち、非常に精度よく第2遮断弁 17 から排出される体積流量 Q が算出されたと言える。

5 このように、比熱比の異なるガスであっても、非常に精度よく第2遮断弁 17 から排出される体積流量 Q を算出することができる。

ここで、上記の条件下において、断熱圧縮・膨張に伴う温度変化を考慮しないで、第2遮断弁 17 から排出される体積流量
10 Q を算出した結果、つまり式 (1)' ~ 式 (5)' などを用いて体積流量 Q を算出した結果を第16図に示す。この場合には、 N_2 ガスでは充填後圧力が $P_{\text{fill}} = 349.52 \text{ kPa}$ と計測され、排出後圧力が $P_{\text{redu}} = 288.52 \text{ kPa}$ と計測されたので、圧力差が 61.00 kPa となり、第2遮断弁 17 から排
15 出される体積流量は、 $Q = 959 \text{ sccm}$ と算出された。この算出結果の誤差は 12% である。

また、 Ar ガスでは充填後圧力が $P_{\text{fill}} = 348.34 \text{ kPa}$ と計測され、排出後圧力が $P_{\text{redu}} = 284.23 \text{ kPa}$ と計測されたので、圧力差が 64.11 kPa となり、第2遮断弁
20 17 から排出される体積流量は、 $Q = 1008 \text{ sccm}$ と算出された。この算出結果の誤差は 12.6% である。

このように高頻度のパルスショットを行う場合に、断熱圧縮・膨張に伴う温度変化を考慮しないと、第2遮断弁 17 から排出される体積流量 Q を精度よく算出することができない。また、比熱比が大きいガスに対して算出誤差が大きくなってしま
25 う。

以上、詳細に説明したように、パルスショット式流量調整装置 1 において、高頻度のパルスショットを行う場合には、断熱圧縮・膨張に伴う温度変化を考慮することにより、第 2 遮断弁 17 から排出される体積流量 Q の誤差を 10% 以上小さくすることができる。すなわち、高頻度のパルスショットを行う場合であっても、断熱膨張・圧縮による温度変化の影響を受けにくくして非常に高精度な流量調整を行うことができる。

そして、高頻度のパルスショットを行うことが可能になることにより、以下の効果が得られる。すなわち、脈動のの変化間隔をより短くすることができ、脈動による圧力変化・流量変化をより小さくすることができる。また、より小さいガス充填容積で低頻度のパルスショットのときと同じ流量を確保することができる。さらに、同じガス充填容積であれば、より大きな流量を確保することができる。また、断熱変化による温度変化の程度（比熱比）が異なる様々なガスに対し、より精度のよい流量調整を行うことができる。

尚、本発明は上記実施の形態に限定されるものでなく、その趣旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。

例えば、パルスショット式流量調整装置 1 と、パルスショット式流量調整装置 1 で実施されるパルスショット式流量調整方法では、単位時間あたりの、第 2 遮断弁 17 から排出されるプロセスガスの体積流量 Q を算出する際に (S16)、温度センサー 15 で計測されたガス充填容積 13 のプロセスガスの温度 T に基づいて、上述した式 (6)'、式 (6)" などにより、20℃換算している。もっとも、プロセスガスの温度膨張を無視することが許されるのであれば、20℃換算を省略してもよい。

また、パルスショット式流量調整装置 1 と、パルスショット式流量調整装置 1 で実施されるパルスショット式流量調整方法では、S 15 において、パルスショット式流量調整装置 1 のコントローラ 19 に内蔵されたデューティ比可変回路を介して、
5 各パルスショットでの第 2 遮断弁 17 の開動作持続時間を変更させているが、各パルスショットでの第 1 遮断弁 12 の開動作持続時間を変更させた場合でも、各パルスショットのガス充填容積 13 のプロセスガスの充填後圧力 P_{fill} ・排出後圧力 P_{redu} が変化するので、単位時間あたりの、第 2 遮断弁 17 から
10 排出されるプロセスガスの体積流量 Q を調整することは可能である。

また、プロセスガスの体積流量の調整のためではなく、ガス充填容積 13 への供給圧力制限のため、第 1 遮断弁 12 の開動作時間を変更してもよい。パルスショット式流量調整装置 1 と、
15 パルスショット式流量調整装置 1 で実施されるパルスショット式流量調整方法では、ガス充填容積 13 へのプロセスガス充填のために、第 1 遮断弁 12 を開いたときにガス充填容積 13 への充填圧力状態を圧力センサー 14 で監視することができるので、所定の制限圧力に達した時点で、第 1 遮断弁 12 を閉じることができる。
20 ことができる。これにより、プロセスガス源から圧力センサー 14 の耐圧を超えた圧力のガスが供給されたとしても、圧力センサー 14 の耐圧を超えないように第 1 遮断弁 12 を閉じることができる。なお、実際には、圧力の上昇カーブと第 1 遮断弁 12 の閉時応答性からある程度の余裕をみて早めに第 1 遮断弁
25 12 を閉じることになる。上記の作用は、圧力を制限するレギュレータ 11 の作用と同じであるから、レギュレータ 11 を不

要にすることができる。

これにより、実質的に、1次側（ガス充填容積13の上流側）の圧力の上限は、第1遮断弁12の耐圧力できまり、耐圧が低い圧力センサーを使用することができる。そして、耐圧が低い
5 圧力センサーは、耐圧が大きい圧力センサーに比べて、相対的により高い分解能を持っているので、高精度な流量測定を行うことができる。また、レギュレータ11が不要になるため、プロセスガスの供給圧力が低い場合には、レギュレータ11において発生する圧力損失がなくなり、より高精度な流量測定を行
10 うことができる。

また、パルスショット式流量調整装置1と、パルスショット式流量調整装置1で実施されるパルスショット式流量調整方法では、S13において、各パルスショット（第1遮断弁12の開閉動作を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと）
15 の所定周期を変更するか、各パルスショット（第1遮断弁12の開閉動作を行った後に第2遮断弁17の開閉動作を行うこと）での第2遮断弁17の開動作持続時間を変更するかを決定しているが、両者を同時に行うように決定しても、S12で求めた制御偏差を「0」にすることは可能である。

20 また、パルスショット式流量調整装置1と、パルスショット式流量調整装置1で実施されるパルスショット式流量調整方法では、第7図に示すように、第2遮断弁17の上流側にノズル16を設ければ、各パルスショットにおけるガス充填容積13のプロセスガス（の圧力波形）をより安定させることができ、
25 また、第2遮断弁17の後流側にフィルタ18を設ければ、第2遮断弁17から排出されるプロセスガス（の圧力波形）をよ

り安定させることができる。

また、高頻度のパルスショットを行う場合に必要となる時定数 ΔT_s , ΔT_θ を、以下に述べる学習動作を行わせて自動的に求めるようにしてもよい。すなわち、まず、未知の必要ガスを供給し、第 1 遮断弁 12 を開け、第 2 遮断弁 17 を閉じて充填状態とする。次に、第 1 遮断弁 12、第 2 遮断弁 17 とともに閉めてガス充填容積 13 を密封状態として、熱平衡状態となるまで十分に放置する。そして、第 2 遮断弁 17 を短時間だけ開け、制御流量に相当する圧力降下を発生させた後、再び第 2 遮断弁 17 を閉じて、圧力値と圧力変化率を測定し、圧力変化カーブの接線を求める。次に、温度平衡状態まで十分に放置し、再度、平衡状態での圧力（漸近線）を測定する。そして、上記接線と漸近線とから、その制御流量時における時定数を求める。必要に応じて、これまでの処理を複数回繰り返し行い、平均値を算出してそれを時定数としてもよい。その後、充填時と排出時のそれぞれについて制御流量全般に対し数点において測定を行う。そして、ここで得られたデータをもとにして、必要な制御流量における時定数を補完して自動的に求める。

こうすることにより、任意の未知のガスについても、その物理的性質が不明であっても、必要な時定数を取得することができるので、高精度な流量制御を行うことができる。

ここで、ガスの物理的特性（粘性、比熱比など）により、ガス種が異なると同じ遮断弁（オリフィス）に対し、流れ易さが 10 倍以上異なってしまう、流れにくいガス用に第 1 遮断弁 12 おび第 2 遮断弁 17 を設計すると、流れやすいガスでの流量制御の精度が $1/10$ に悪化する。例えば、流れにくいガス（C

3F4) が第2遮断弁17の開時間25 msec (無駄時間5 msec) を含み、比例帯は20 msec) で1SLMの流量を発生させるように第2遮断弁17 (オリフィス) を設計すると、流れやすいガス (He) では、第2遮断弁17の開時間7 msec
5 msecで1SLMの流量を発生させてしまい、比例帯として2 msec程度しかなく、制御分解能が10倍に悪化し、特に小流量時の制御性を悪化させる。また、結果的に使用されない弁開時間23 msecが無駄になってしまう。

一方、ガス固有の粘性・比熱比などに応じて、適切な第2遮断弁17の開時間を設定すると、使用するガス種ごとに第2遮断弁17の開時間の設定を変更する必要があり不便である。

そこで、第2遮断弁17に、電流値に比例した開度 (流量特性) が得られる比例弁を使用するようにしてもよい。すなわち、第2遮断弁17の開閉動作を、単純な開閉制御ではなく、任意開度 (流量特性・オリフィス) への開閉を可能とするのである。
そして、必要最大流量に相当する圧力降下を発生させるのに必要となる第2遮断弁17の開時間が、ほぼ第2遮断弁17における開時間の最大値 (制御余裕・安全度を残した最大値) となるように、第2遮断弁17の開度 (電流) を換えて適切な開度
15 (電流) を求めて記録しておけばよい。例えば、第2遮断弁17用として30 msecの制御時間が割り当てられている場合には、第2遮断弁17の開時間が25 msecで最大流量相当の圧力降下となるように、第2遮断弁17の開度 (電流) を求めることになる。

25 このようにすることにより、任意のガスの供給に対し、学習により第2遮断弁17においては適切な開度が設定されている

ため、流量に応じた適切な第2遮断弁17の開時間が確保される。よって、最大流量では、割り当てられた制御時間の大半が開時間となり、小流量でも、必要な分解能を確保することができる開時間となる。したがって、異なったガス種、未知のガス種に対し、適切な第2遮断弁17の開時間を確保することができ制御性を悪化させない。よって、どのようなガス種であっても、高精度に流量制御を行うことができる。

産業上の利用可能性

- 10 以上述べたように、本発明のパルスショット式流量調整装置とパルスショット式流量調整方法においては、パルスショット式という新たな方式を用いており、つまり、第1遮断弁の開閉動作を行った後に第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、圧力センサーで計測されたガス充填容積
15 の充填後圧力・排出後圧力に基づいて、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出し、さらに、パルスショットの態様を変化させることにより、第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を調整しているので、(1)ガスの乱流に影響されることがなく、ガスの乱流を強制的に抑える層流管などの装置が不要
20 となり、(2)細管などの測定子をガスの流路に介在させることが不要となり、(3)ガスの圧力が制限されることがなく、レギュレータなどの装置が不要となって、構成パーツがシンプルになるなど、従来の制約から解放させることができる。

また、半導体製造装置では、腐食性ガスが使用され、ガス置
25 換が行われ、ガス流路の切換などに遮断弁を使用することが多いので、本発明のパルスショット式流量調整装置とパルスシヨ

ット式流量調整方法を半導体製造装置で使用すれば、(4)細管などの測定子を使用しないので、腐食による目詰まりなどの異常が発生せず、(5)デッドボリュームがないので、ガス置換を確実に実行でき、(6)第1遮断弁や第2遮断弁をガス流路の切
5 換などに流用することにより、ガス流路の切換などに使用するための遮断弁を削減することができる。

また、高頻度のパルスショットを行う場合には、断熱圧縮・膨張に伴う温度変化を考慮することにより、非常に高精度な流量調整を行うことができる。

- 10 そして、高頻度のパルスショットを行うことが可能になることにより、以下の効果が得られる。すなわち、脈動のの变化間隔をより短くすることができ、脈動による圧力変化・流量変化をより小さくすることができる。また、より小さいガス充填容積で低頻度のパルスショットのときと同じ流量を確保すること
15 ができる。さらに、同じガス充填容積であれば、より大きな流量を確保することができる。また、断熱変化による温度変化の程度（比熱比）が異なる様々なガスに対し、より精度のよい流量調整を行うことができる。

請 求 の 範 囲

1. ガス源に接続された第1遮断弁と、前記第1遮断弁に接続された第2遮断弁と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁の間
5 のガス充填容積と、前記ガス充填容積の圧力を計測する圧力センサーと、を備えるパルスショット式流量調整装置であって、

前記第1遮断弁の開閉動作を行った後に前記第2遮断弁の開閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、前記圧力センサーで計測された前記ガス充填容積の充填後圧力・排出後圧
10 力に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出する一方、

前記パルスショットの態様を変化させることにより、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を調整すること、を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

15 2. 請求項1に記載するパルスショット式流量調整装置であって、

前記パルスショット毎に前記第2遮断弁から排出されるガスの体積を算出して積算することにより、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出すること、を特徴とするパルス
20 ショット式流量調整装置。

3. 請求項1又は請求項2に記載するパルスショット式流量調整装置であって、

前記パルスショットを繰り返して行う所定周期に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出すること、
25 を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

4. 請求項1乃至請求項3のいずれか一つに記載するパルス

ショット式流量調整装置であって、

前記パルスショットを繰り返して行う所定周期を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させること、を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

- 5 5. 請求項1乃至請求項4のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整装置であって、

前記第1遮断弁又は前記第2遮断弁の開動作持続時間を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させること、を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

- 10 6. 請求項1乃至請求項5のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整装置であって、

前記ガス充填容積の温度を計測する温度センサーを備え、

- 15 前記温度センサーで計測された前記ガス充填容積の温度にも基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出すること、を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

7. 請求項1乃至請求項6のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整装置であって、

- 20 前記第1遮断弁の開閉動作を行った後から前記第2遮断弁の開閉動作を行うまでの間（充填時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき充填後の熱平衡状態における充填後推定圧力を推定し、その充填後推定圧力を前記充填後圧力として用い、

- 25 前記第2遮断弁の開閉動作を行った後から前記第1遮断弁の開閉動作を行うまでの間（排出時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき排出後の熱平衡状態における排出後推定圧力を推定し、その排出後推定圧力を前記排出後圧力として

用いること、を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

8. 請求項1乃至請求項7のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整装置であって、

前記第1遮断弁は、前記圧力センサーで計測される前記ガス
5 充填容積の圧力が所定値以上になった場合には閉じられること、
を特徴とするパルスショット式流量調整装置。

9. 請求項1乃至請求項8のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整装置であって、

半導体製造装置で使用されること、を特徴とするパルスショ
10 ット式流量調整装置。

10. ガス源に接続された第1遮断弁と、前記第1遮断弁に
接続された第2遮断弁と、前記第1遮断弁と前記第2遮断弁の
間のガス充填容積と、前記ガス充填容積の圧力を計測する圧力
センサーと、を備えるパルスショット式流量調整方法であって、

15 前記第1遮断弁の開閉動作を行った後に前記第2遮断弁の開
閉動作を行うパルスショットを繰り返すとともに、前記圧力セ
ンサーで計測された前記ガス充填容積の充填後圧力・排出後圧
力に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量
を算出する一方、

20 前記パルスショットの態様を変化させることにより、前記第
2遮断弁から排出されるガスの体積流量を調整すること、を特
徴とするパルスショット式流量調整方法。

11. 請求項10に記載するパルスショット式流量調整方法
であって、

25 前記パルスショット毎に前記第2遮断弁から排出されるガス
の体積を算出して積算することにより、前記第2遮断弁から排

出されるガスの体積流量を算出すること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

12. 請求項10又は請求項11に記載するパルスショット式流量調整方法であって、

- 5 前記パルスショットを繰り返して行う所定周期に基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出すること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

13. 請求項10乃至請求項12のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整方法であって、

- 10 前記パルスショットを繰り返して行う所定周期を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

14. 請求項10乃至請求項13のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整方法であって、

- 15 前記第1遮断弁又は前記第2遮断弁の開動作持続時間を変化させることにより、前記パルスショットの態様を変化させること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

15. 請求項10乃至請求項14のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整方法であって、

- 20 前記ガス充填容積の温度を計測する温度センサーを備え、
前記温度センサーで計測された前記ガス充填容積の温度にも基づいて、前記第2遮断弁から排出されるガスの体積流量を算出すること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

16. 請求項10乃至請求項15のいずれか一つに記載する
25 パルスショット式流量調整方法であって、

前記第1遮断弁の開閉動作を行った後から前記第2遮断弁の

開閉動作を行うまでの間（充填時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき充填後の熱平衡状態における充填後推定圧力を推定し、その充填後推定圧力を前記充填後圧力として用い、

- 5 前記第 2 遮断弁の開閉動作を行った後から前記第 1 遮断弁の開閉動作を行うまでの間（排出時）における断熱変化に伴う圧力変化の変化率に基づき排出後の熱平衡状態における排出後推定圧力を推定し、その排出後推定圧力を前記排出後圧力として用いること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

- 10 17. 請求項 10 乃至請求項 16 のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整方法であって、

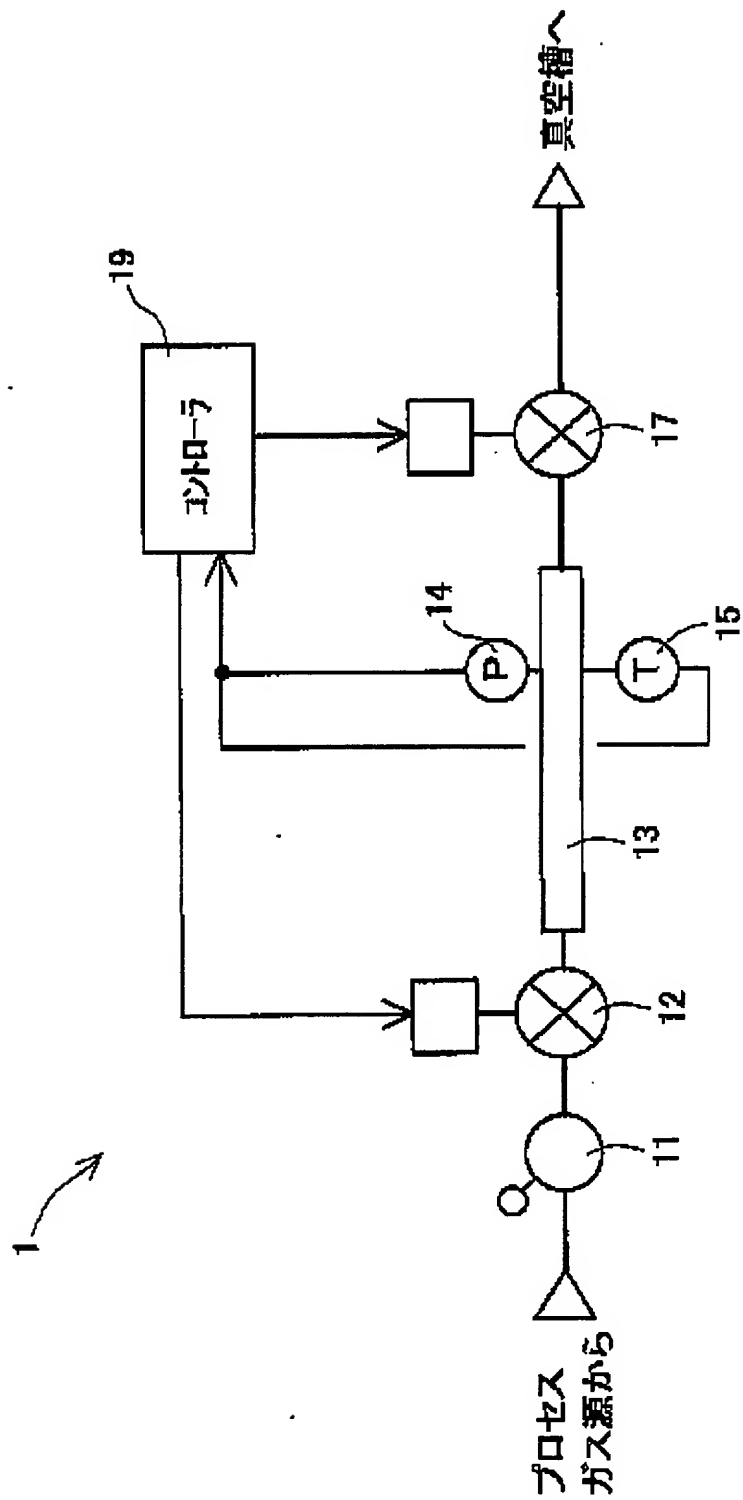
前記第 1 遮断弁を、前記圧力センサーで計測される前記ガス充填容積の圧力が所定値以上になった場合に関すること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

- 15 18. 請求項 10 乃至請求項 17 のいずれか一つに記載するパルスショット式流量調整方法であって、

半導体製造装置で使用されること、を特徴とするパルスショット式流量調整方法。

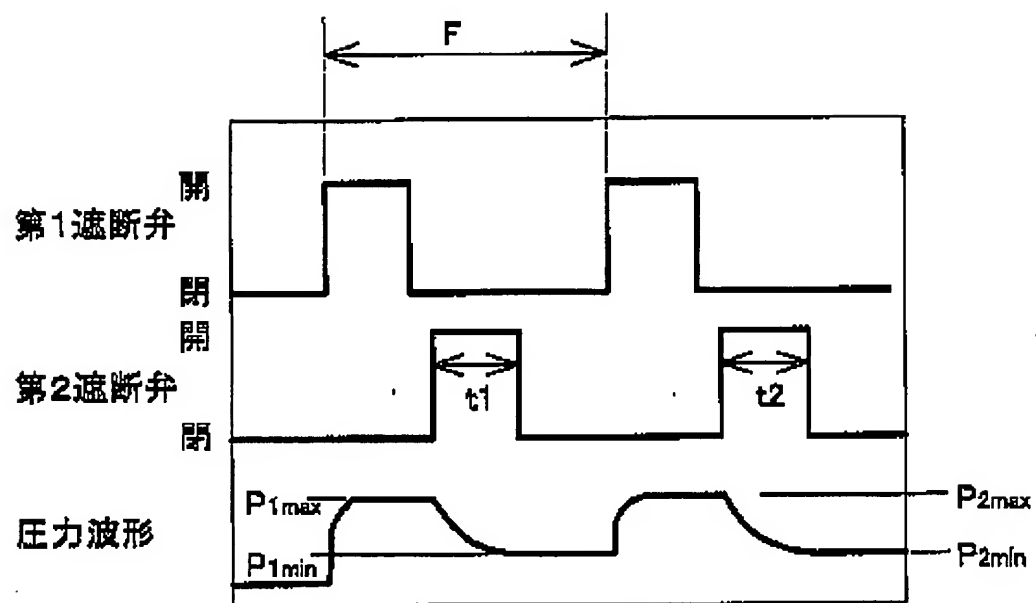
1/13

第1図

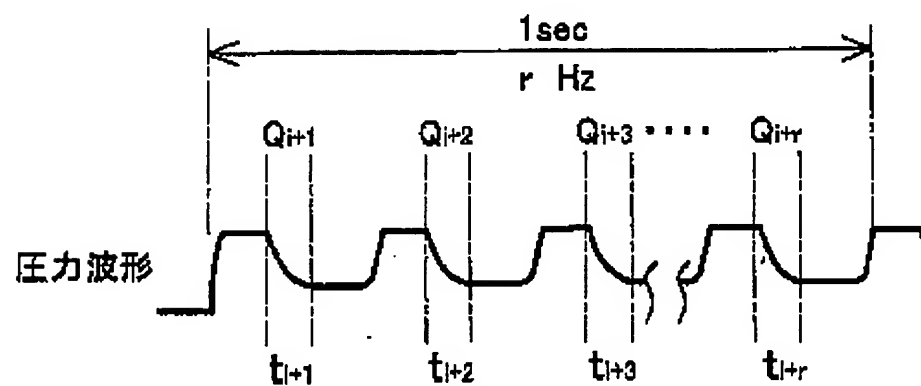


2/13

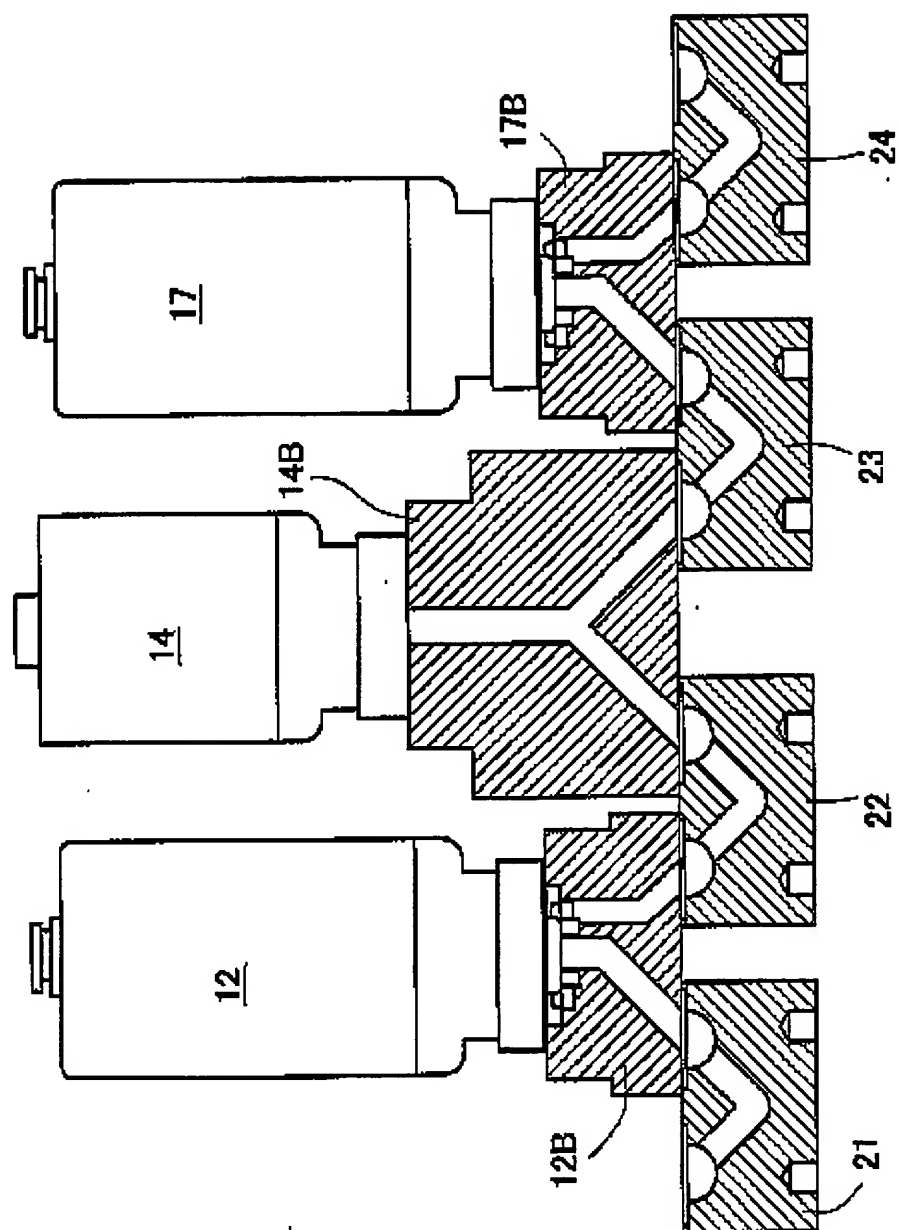
第2図



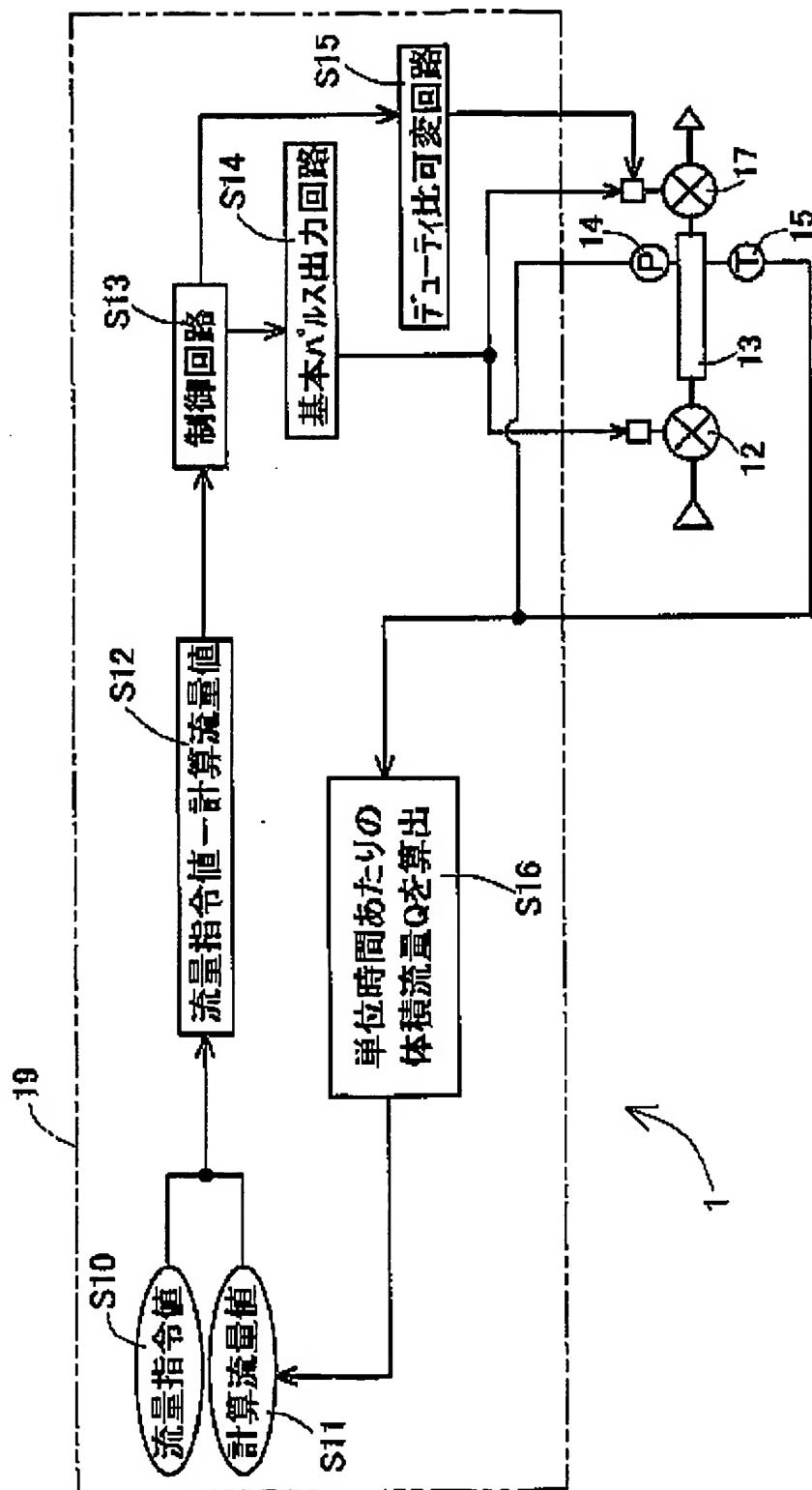
第3図



第4図

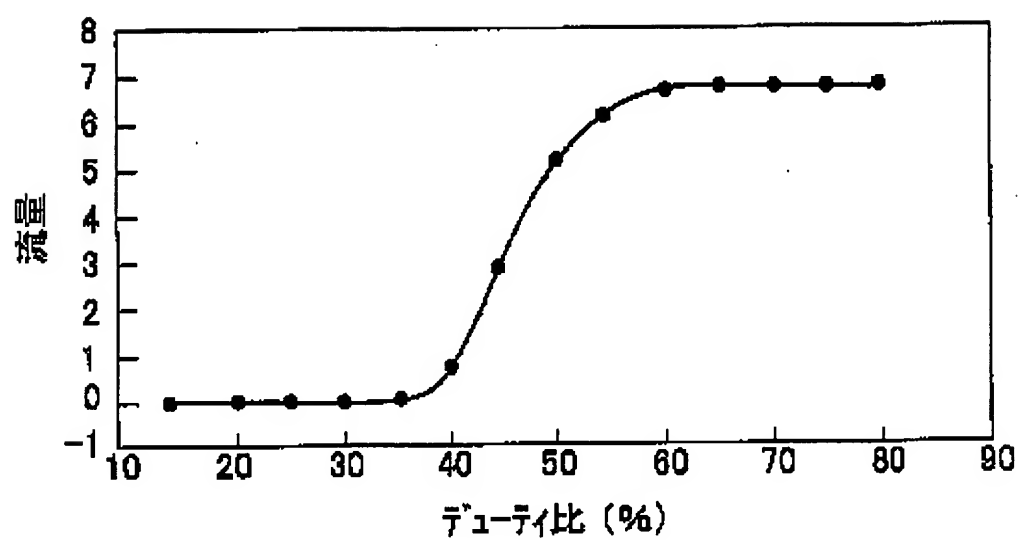


第5図



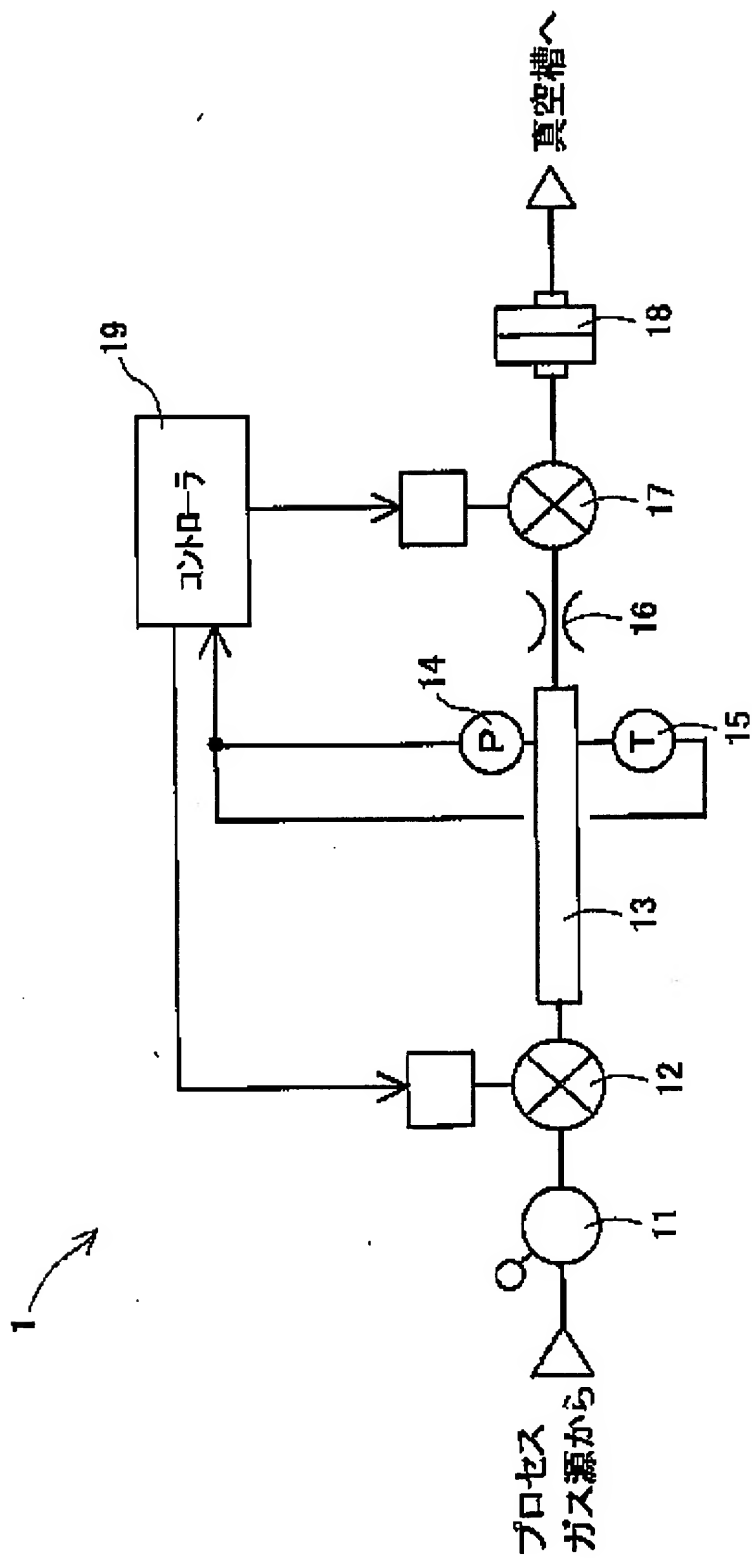
5/13

第6図

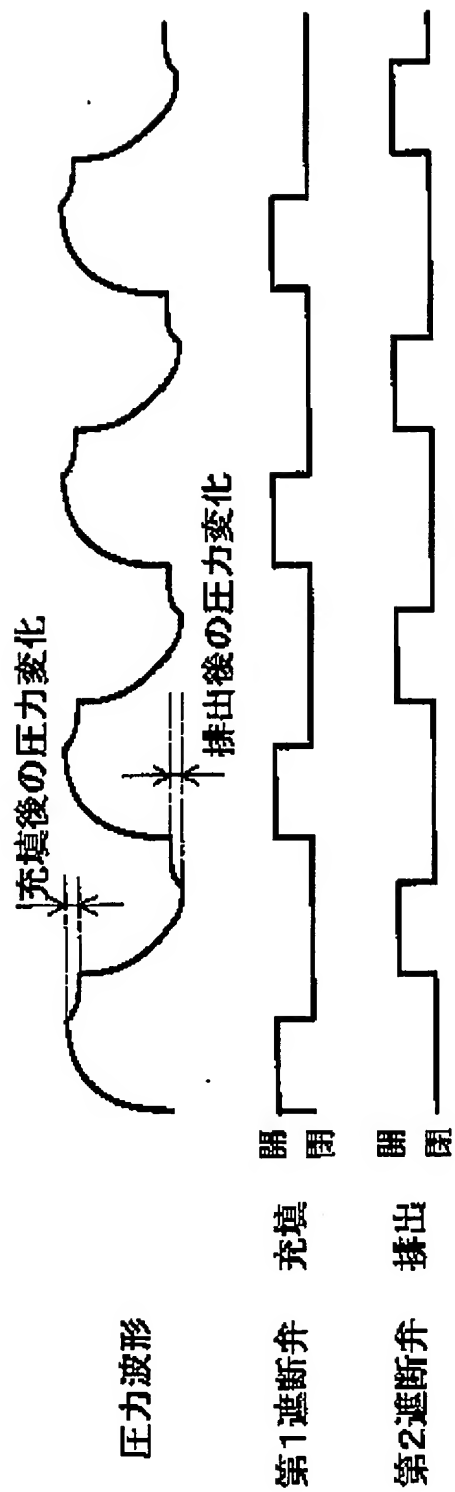


6/13

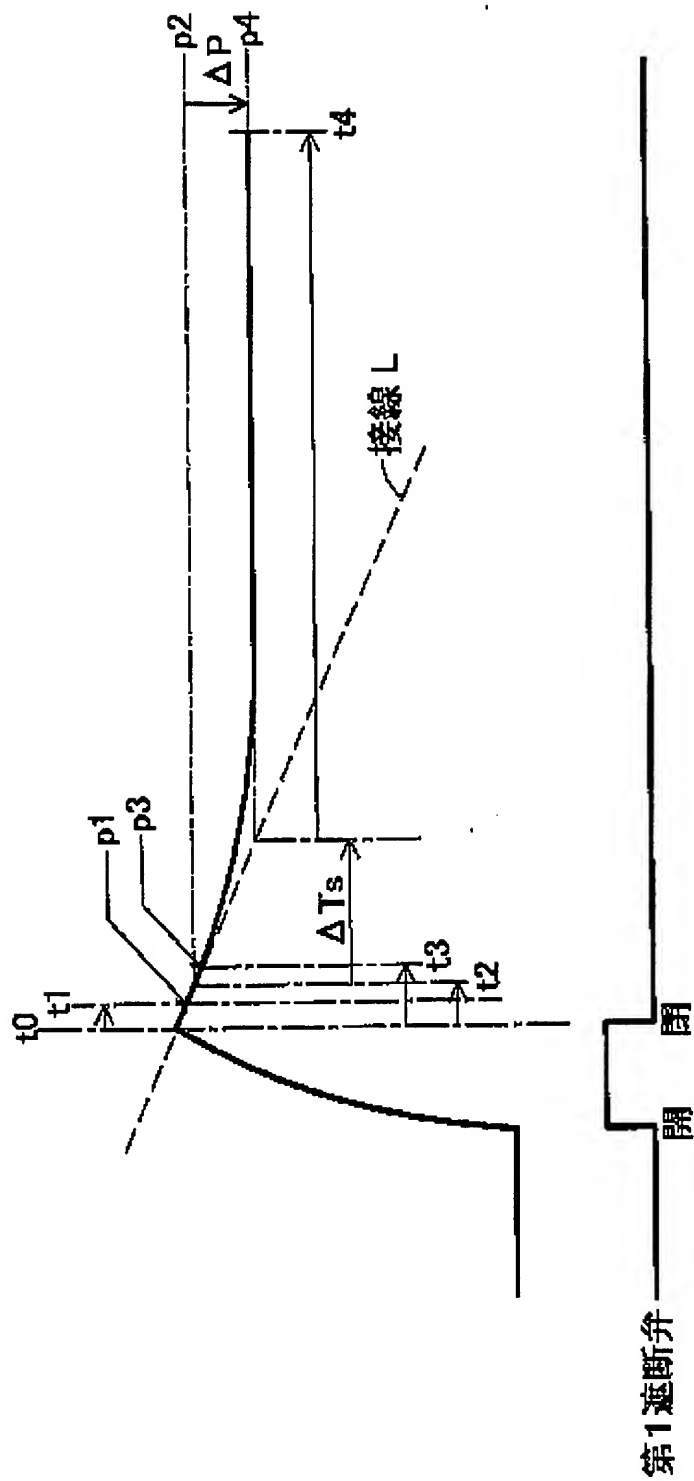
第7図



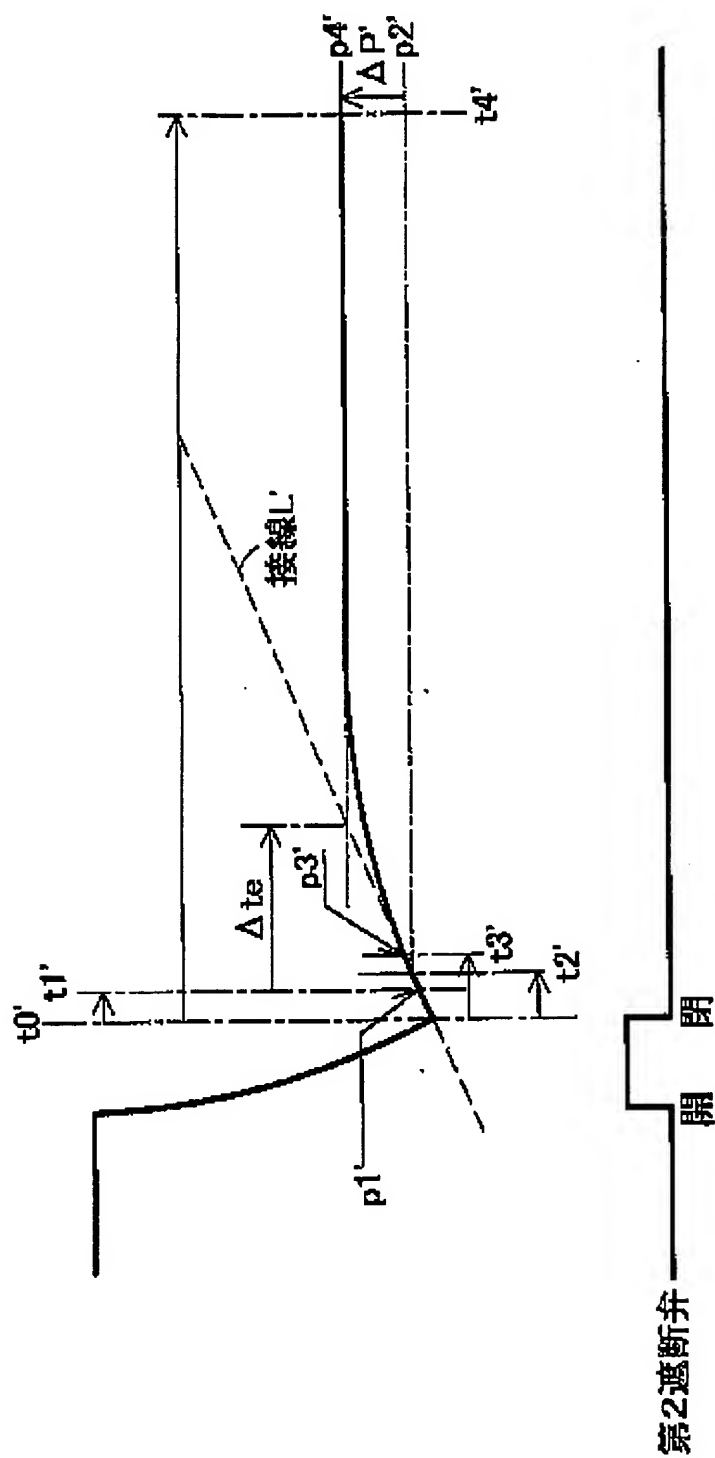
第8図



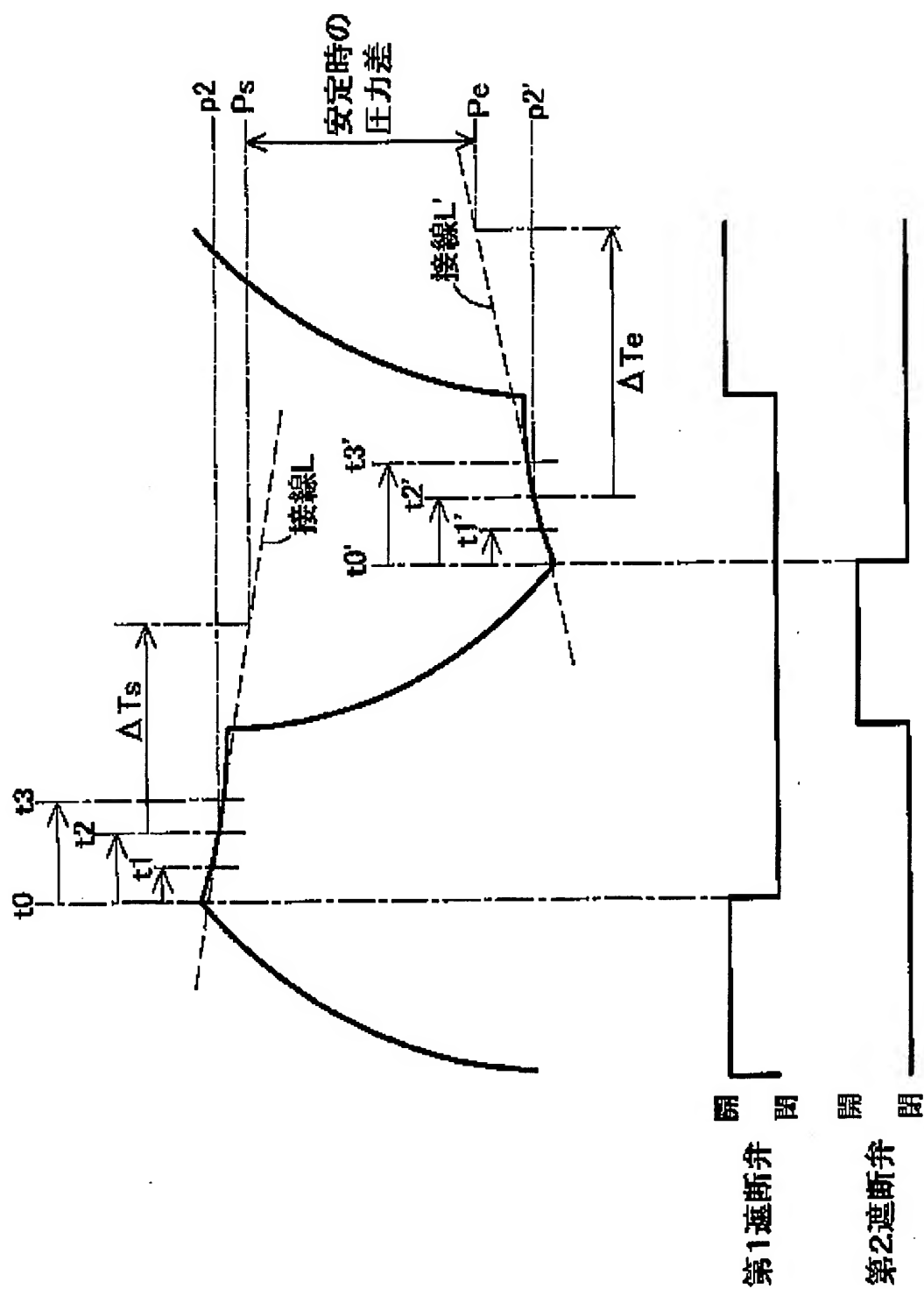
第9図



第10図

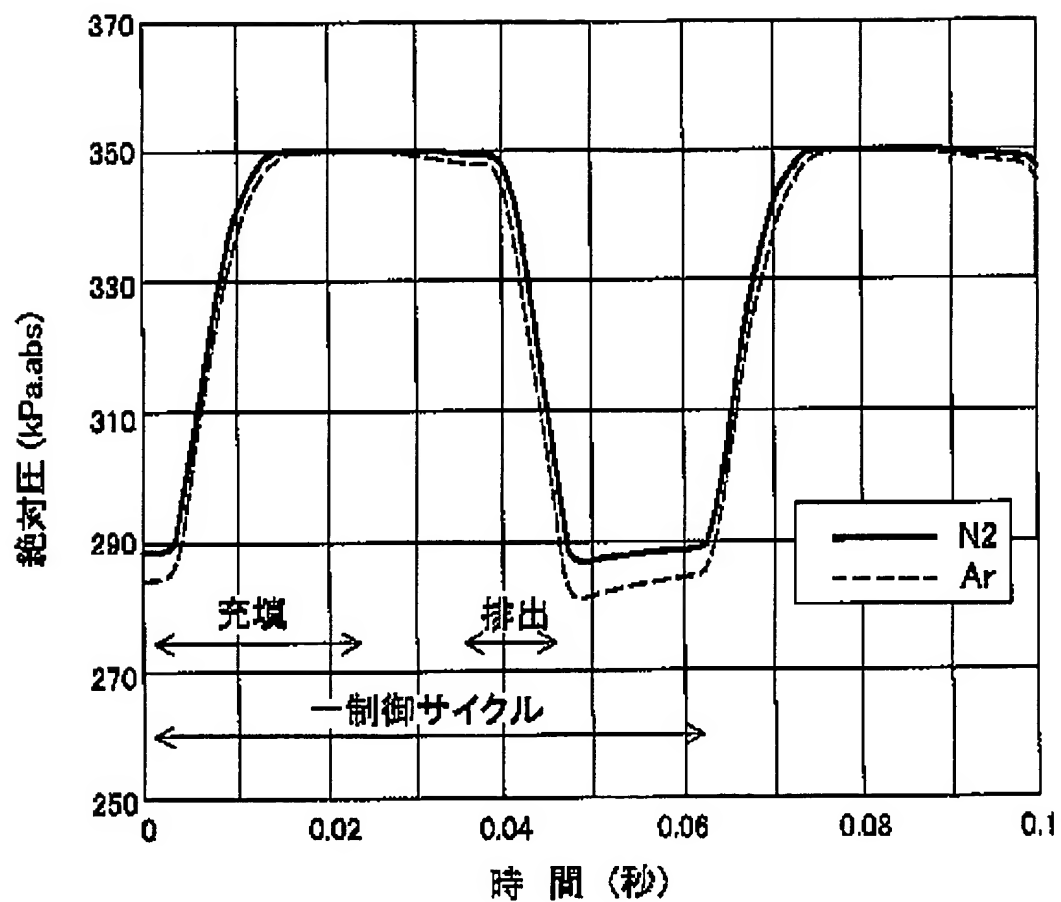


第11圖



11/13

第12図



12/13

第13図

		圧力 (kPa.abs)		
充填	経過時間(秒)	N ₂	Ar	
t0	0.025	350.39	350.00	
t1	0.028	350.22	349.56	p1
t2	0.029	350.13	349.41	p2
t3	0.030	349.97	349.12	p3

p3-p1	kPa	-0.254	-0.435
時定数 ΔT_s	msec	16	13
P _s	kPa.abs	348.1	346.6

第14図

		圧力 (kPa.abs)		
排出	経過時間(秒)	N ₂	Ar	
t0'	0.049	288.08	281.98	
t1'	0.050	287.17	282.01	p1'
t2'	0.051	287.39	282.32	p2'
t3'	0.052	287.55	282.66	p3'

p3'-p1'	kPa	0.375	0.658
時定数 ΔT_e	msec	50	42
P _e	kPa.abs	296.8	296.1'

13/13

第15図

流量計算		N ₂	Ar
温度	°K	300	300
充填容積	cc	1.75	1.75
周期	Hz	16.67	16.67
流量	sccm	807.4	794.0
誤差 (SET POINT)		0.92 %	-0.75 %

第16図

		压力 (kPa.abs)	
排気	経過時間(秒)	N ₂	Ar
充填時計測	0.035	349.52	348.34
排出時計測	0.060	288.52	284.23
压力差	kPa	61.00	64.11
温度	°K	300	300
充填容積	cc	1.75	1.75
周期	Hz	16.66666	16.66667
流量	sccm	959	1,008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G05D7/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G05D7/00-7/06, G05D16/00-16/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-202945 A (SMC Corp.), 30 July, 1999 (30.07.99), & US 6125869 A	1-18
A	JP 8-312900 A (CKD Corp.), 26 November, 1996 (26.11.96), (Family: none)	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"B" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"Y" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Z" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"E" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 December, 2002 (10.12.02)

Date of mailing of the international search report

24 December, 2002 (24.12.02)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ G05D7/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ G05D7/00-7/06, G05D16/00-16/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1928-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2002年
日本国登録実用新案公報	1994-2002年
日本国実用新案登録公報	1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-202945 A (エスエムシー株式会社) 1999. 07. 30 & US 6125869 A	1-18
A	JP 8-312900 A (シーケーディ株式会社) 1996. 11. 26 (ファミリーなし)	1-18

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に拠る文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 12. 02

国際調査報告の発送日

24.12.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
森林 克郎

SH 8618

電話番号 03-3581-1101 内線 3314